

## ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

### Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов

Дата введения IV квартал 1983 г.

ВНЕСЕНЫ Всесоюзным ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательским институтом гидротехники им. Б.Е.Веденева

УТВЕРЖДЕНЫ совместным решением Минэнерго СССР, Минречфлота РСФСР Минморфлота СССР от 8 июля 1983 г.

ВЗАМЕН раздела 7 СН 353-66

"Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномерзлых грунтов" регламентирует особенности проектирования гидротехнических сооружений, возводимых в районах распространения вечномерзлых грунтов. Нормативный документ разработан взамен раздела 7 "Речные гидротехнические сооружения" СН 353-66 "Указания по проектированию населенных мест, предприятий, зданий и сооружений в северной строительной-климатической зоне" и выпускается по согласованию с Госстроем СССР (письмо N ИИ-521-1 от 28.01.83).

Требования Инструкции направлены на повышение эффективности капитальных вложений и надежности сооружений, проектируемых и возводимых в районах распространения вечномерзлых грунтов.

Инструкция предназначена для работников проектных, строительных, научных организаций и учебных заведений.

#### Содержание

- [1. Общие положения](#)
  - [2. Основные требования к проектированию](#)
  - [3. Инженерно-геологические, геокриологические и гидрогеологические изыскания](#)
  - [4. Основания сооружений](#)
  - [5. Бетонные и железобетонные плотины](#)
  - [6. Плотины из грунтовых материалов](#)
  - [7. Водопрпускные и водоприемные сооружения](#)
  - [8. Подземные гидротехнические сооружения](#)
  - [9. Причальные сооружения](#)
  - [10. Водохранилища](#)
  - [11. Охрана окружающей среды](#)
  - [12. Особенности проектирования производства работ](#)
- [Приложение 1 \(справочное\). Физико-механические и теплофизические характеристики многолетнемерзлых пород](#)
- [Приложение 2 \(рекомендательное\). Инженерно-геокриологические модели оснований гидротехнических сооружений](#)
- [Приложение 3 \(рекомендательное\). Материалы, конструкции и технологические схемы тепло- и гидроизоляционной защиты гидротехнических сооружений](#)
- [Приложение 4 \(рекомендательное\). Расчеты теплогидроизоляции и противодиффузионных экранов из асфальтовых материалов](#)
- [Приложение 5 \(рекомендательное\). Определение значений коэффициента линейного расширения замороженного гидротехнического бетона, изготовленного на заполнителях из изверженных пород](#)
- [Приложение 6 \(рекомендательное\). Определение прочностных характеристик льда](#)
- [Приложение 7 \(рекомендательное\). Процесс термоабразионного переформирования берегов водохранилищ](#)

#### ПРЕДИСЛОВИЕ

"Инструкция по проектированию гидротехнических сооружений в районах распространения вечномёрзлых грунтов" разработана во ВНИИГ имени Б.Е.Веденеева и в Ленинградском отделении института Гидропроект им. С.Я.Жука (Минэнерго СССР) с участием институтов Гипроречтранс (Минречфлота РСФСР) и Ленморниипроекта (Минморфлота СССР).

Инструкция составлена по результатам научно-исследовательских работ, связанных с исследованиями, изысканиями, проектированием и строительством гидротехнических сооружений в условиях Крайнего Севера, а также с учетом опыта проектирования и строительства ряда гидротехнических сооружений, в том числе: Вилюйских-I и II, Усть-Илимской, Колымской, Зейской, Хантайской, Курейской, Бурейской и других ГЭС.

Общее руководство исследованиями и разработкой Инструкции осуществлял Л.И.Кудояров.

Ответственными исполнителями по отдельным разделам Инструкции были:

от ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева: А.П.Пак, Д.Д.Сапегин, А.И.Федоренко, В.В.Тетельмин, А.В.Швецов, В.А.Логунова, В.Н.Губарь, Л.П.Трапезников, М.С.Ламкин, В.Б.Судаков, В.М.Матюшин, Н.Ф.Щавелев, А.П.Епифанов, Л.М.Гаркун, В.И.Сильницкий, Е.А.Смирнов, В.Д.Глебов, В.С.Кузнецов, В.М.Придорогин, Д.Д.Лаппо, Г.Л.Рубинштейн, Л.В.Мошков, Н.А.Елисеев, В.А.Буханов, О.С.Лигун, С.М.Алейников, И.Н.Соколов, В.М.Давиденко;

от Ленгидропроекта: С.А.Фрид, Н.Ф.Кривоногова, Г.Я.Гевирц, Е.Д.Лосев, А.Г.Кузнецов, А.И.Ермолаев, Б.П.Ферингер;

от Гипроречтранса: В.Э.Даревский;

от Ленморниипроекта: Ф.А.Мартыненко и В.Г.Апельсин.

Руководители работы: от ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева - А.П.Пак, от Гидропроекта им. С.Я.Жука - С.А.Фрид.

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Нормы настоящей Инструкции должны соблюдаться при проектировании новых и реконструируемых гидротехнических сооружений в районах распространения вечномёрзлых грунтов.

Примечание. В настоящей Инструкции изложены основные положения, содержащие дополнительные и специальные требования, связанные с особенностями природных условий рассматриваемых районов. При проектировании сооружений в этих районах надлежит руководствоваться также соответствующими СНиП с выполнением требований настоящей Инструкции.

1.2. При проектировании сооружений в рассматриваемых районах следует учитывать нижеперечисленные особенности:

отрицательную среднегодовую температуру воздуха, большую суточную и годовую амплитуду температур воздуха (абсолютная максимальная 41 °С, абсолютная минимальная минус 70 °С), продолжительный зимний период (до 305 суток);

наличие вечномёрзлых грунтов в виде сплошной, слоистой, прерывистой или островной мерзлоты;

существенное изменение физико-механических характеристик льдистых грунтов при их оттаивании, вплоть до полной потери ими несущей способности и водоупорности;

развитие мерзлотных процессов и явлений (бугров пучения, наледей, термокарста, солифлюкции, морозобойных трещин) в основании, береговых примыканиях и в теле грунтовых гидротехнических сооружений;

тяжелые ледовые условия и возможность значительных ледовых нагрузок и воздействий (толщина льда свыше 1,5 м);

значительные отложения снега, в том числе в пазухах недостроенных сооружений;

высокую неравномерность стока с частым наличием пиков расходов не только весной, но и в летне-осенний период; бурные весенние паводки с сильными ледоходами; большую амплитуду расчетных уровней воды и, как правило, низкие зимние меженные уровни; полное перемерзание средних и малых водотоков.

1.3. При проектировании гидротехнических сооружений в указанных районах необходимо соблюдать требования действующих в стране законодательств по охране природы, обеспечению воспроизводства природных богатств и улучшению окружающей человека среды. При проектировании следует предусматривать мероприятия, обеспечивающие минимальное нарушение природной среды (раздел 11 настоящей Инструкции).

1.4. При проектировании гидротехнических сооружений в рассматриваемых районах необходимо предусматривать проведение дополнительных исследований, связанных с особенностями строительства и эксплуатации сооружений в данных районах. Допускается составление индивидуальных технических условий, учитывающих особенности конкретного района строительства и развивающих требования настоящей Инструкции. Указанные технические условия утверждаются в установленном порядке.

## 2. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ

2.1. При проектировании гидротехнических сооружений и их оснований необходимо принимать один из следующих принципов строительства:

принцип I - вечномерзлые грунты в основании сохраняются в процессе строительства и в течение всего заданного периода эксплуатации, а талые грунты промораживаются, обеспечивая водонепроницаемость и фильтрационную прочность противофильтрационного устройства сооружения, основания и его контакта с сооружением;

принцип II - допускается оттаивание вечномерзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации либо предусматривается их искусственное оттаивание на заданную глубину до начала или в процессе возведения сооружений.

Примечания: 1. На разных по длине участках одного сооружения и для разных сооружений одного гидроузла допускается использование обоих принципов. Окончательный выбор принципа строительства должен быть установлен технико-экономическим сопоставлением вариантов.

2. При проектировании сооружений или их частей с использованием принципов I и II особое внимание должно уделяться конструированию зоны их контакта. В частности, допускается рассматривать целесообразность применения поперечных замораживающих установок (тепловая шпонка), обеспечивающих защиту мерзлой части оснований или сооружений от отепляющего воздействия талой части.

2.2. При проектировании гидротехнических сооружений в рассматриваемых районах в соответствии с указаниями п.1.3 следует предусматривать мероприятия:

по подготовке ложа водохранилища к затоплению, направленные на охрану качества воды;

по выполнению гидротехнических противоэрозионных работ в природоохранной зоне побережья водохранилища, ограничивающих водную эрозию и развитие термокарста;

по обеспечению сохранения рыбных запасов и рыбозаведения;

по разработке инженерных защитных сооружений для разведанных месторождений полезных ископаемых, попадающих в зону затопления водохранилища;

по рекультивации площадей земли, занимаемой карьерами, после их использования;

по обеспечению нормального увлажнения береговой зоны с целью сохранения и улучшения продуктивности естественных ландшафтов и сельскохозяйственных угодий.

2.3. Тип, конструкцию и методы возведения проектируемых сооружений следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов с учетом:

выбранного принципа строительства;

класса сооружения;

условий пропуска строительных расходов воды;

гидрометеорологических условий района строительства.

2.4. Металлические конструкции гидротехнических сооружений следует проектировать с учетом требований, предъявляемых к металлу, работающему в условиях низких отрицательных температур.

2.5. Конструкции из льда или с использованием льда допускается применять для временных сооружений (перемычки, дамбы и т.д.), а при наличии обоснования - для постоянных причальных сооружений.

2.6. При проектировании гидротехнических сооружений I-III классов в рассматриваемых районах следует предусматривать установку специальной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для наблюдений за:

температурным режимом оснований сооружений, скальных массивов, окружающих подземные выработки;

изменением уровня грунтовых вод в процессе строительства и эксплуатации;

фильтрацией в основании и в береговых примыканиях;

конвекцией воздуха и льдообразованием в упорных призмах и других частях грунтовых сооружений;

режимом формирования мерзлотных завес;

деформациями, в том числе температурными, сооружений, их оснований и массивов, окружающих подземные сооружения.

Проектом должна устанавливаться необходимость организации натурных наблюдений на гидромеханическом оборудовании и за работой тепловой изоляции сооружений.

Состав и объем наблюдений устанавливается в соответствии с назначением, конструкцией и классом сооружения, принятым принципом строительства и особенностями мерзлотно-геологической обстановки.

2.7. Размещение пультов, коммутационных сетей, КИА и конструкция приборов должны обеспечивать их нормальную эксплуатацию в рассматриваемых районах.

### **3. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ, ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ**

3.1. При проведении инженерно-геологических изысканий и исследований в области развития многолетнемерзлых пород кроме задач, решаемых при изысканиях для целей гидротехнического строительства вне этой области, должны быть учтены требования настоящей Инструкции и перечисленные ниже (п.3.2-3.8) особые условия.

3.2. Состав, объем и методика инженерно-геокриологических изысканий должны соответствовать стадии проектирования, классу сооружения и сложности природной обстановки. На каждом этапе изучения инженерно-геокриологических условий необходимо выполнять с детальностью, удовлетворяющей требованиям проектирования конкретного гидротехнического сооружения на данной стадии разработки проекта.

3.3. В процессе изысканий необходимо выяснить характер распространения многолетнемерзлых пород по площади (сплошное, прерывистое, островное) и причины, его обуславливающие. Следует уделять особое внимание генезису, приуроченности, конфигурации, размерам талых зон, прежде всего подруслового талика. При этом следует различать сквозной и замкнутый (несквозной) талик.

Характер распространения многолетнемерзлых пород следует изучать в процессе специальной мерзлотной съемки или комплексной инженерно-геокриологической съемки с широким привлечением геофизических методов исследований и постановкой наблюдений за температурой пород в опорных скважинах.

3.4. При проведении изысканий следует выяснять характер залегания многолетнемерзлых пород и их мощность. По характеру залегания устанавливается тип мерзлой толщи. При этом следует различать:

сливающиеся мерзлые толщи - многолетнемерзлые породы залегают непосредственно под сезонноталым слоем;

несливающиеся мерзлые толщи - породы сезонноталого слоя и кровля многолетнемерзлых пород разделены слоем талого грунта;

реликтовые мерзлые толщи (погребенные) - слой талого грунта, залегающий над мерзлотой, составляет по мощности более 10-20 м.

Необходимо оценить мощность многолетнемерзлых пород и мощность криогенной толщи (немерзлые породы, содержащие высокоминерализованные воды с отрицательной температурой) и установить закономерные связи изменения мощности от основных геолого-географических факторов.

Характер залегания и мощности многолетнемерзлых пород следует изучать:

по керну, условиям проходки, температурным измерениям в скважинах и горных выработках;

по геофизическим данным;

расчетными методами.

Примечание. Мерзлые толщи следует разделять на непрерывно-мерзлые по вертикали и прерывистые (слоистые), переслаивающиеся с водоносными или неводоносными породами с положительной температурой, либо с немерзлыми породами, содержащими высокоминерализованные воды с отрицательной температурой.

3.5. При изучении особенностей гидрогеологических условий в связи с мерзлотой следует определять:

типы подземных вод по отношению к мерзлой толще - надмерзлотные, межмерзлотные, внутримерзлотные, воды таликовых зон различного генезиса;

напорность подземных вод, их химизм, режим питания, циркуляцию и разгрузки;

фильтрационные свойства пород в массиве при естественном температурном режиме и их изменение при динамике мерзлотной обстановки в связи с возведением и эксплуатацией гидросооружений.

Гидрогеологические условия следует изучать в процессе анализа материалов мерзлотной съемки с постановкой опытно-фильтрационных и режимных гидрогеологических наблюдений.

3.6. При изысканиях и исследованиях должна быть установлена детальная характеристика климатических условий района строительства (температурный режим воздуха, ветровой и влажностный режим района, данные о солнечной радиации). Эти материалы должны быть использованы при прогнозировании закономерностей формирования температурного режима многолетнемерзлых и талых пород.

В результате должна быть дана схема развития температурного режима пород в верхних горизонтах мерзлых толщ, установлена динамика мерзлых толщ различной мощности и строения и выполнен прогноз их изменения в связи со строительством и эксплуатацией сооружений гидроузла.

3.7. Необходимо изучить криогенное строение многолетнемерзлых пород, При этом должны изучаться криогенные текстуры пород, характеризующиеся взаимным расположением сцементированных льдом минеральных агрегатов и включений льда, формой и величиной последних. Основные типы криогенных текстур даны в табл.1.

Таблица 1

Тип криогенной текстуры	Характеристика криогенной текстуры	Примечание
Массивная	Лед, занимая поровое пространство между минеральными агрегатами, цементирует их	Типична для дисперсных пород
Базальная	Минеральные агрегаты (прослойки) разъединены льдом, объем льда больше объема пор грунта в талом состоянии	Типична для дисперсных пород, промерзавших в условиях избыточного увлажнения
Корковая	Лед образует корки вокруг крупнообломочного материала, в заполнителе - лед в виде цемента или мелких шлиров	Типична для крупнообломочных пород
Линзовидная	Лед присутствует в виде линз различной формы и размеров	Типична для песчано-глинистых пород
Слоистая	Лед образует выдержанные слои и прослойки	Типична для песчано-глинистых пород
Сетчатая	Взаимно пересекающиеся ледяные шлиры создают сетку	Типична для песчано-глинистых пород
Трещинная и трещинножилъная	Лед в виде пленок, корок, цемента в заполнителе или прожилков по трещинам	Типична для скальных и полускальных пород

Криогенное строение пород необходимо изучать в штольнях, шурфах, шахтах, расчистках, для песчано-глинистых пород также по керну скважин. При этом производятся масштабные зарисовки и фотографирование мерзлого грунта.

3.8. При проектировании гидротехнических сооружений должны быть изучены следующие мерзлотные процессы и явления:

морозное пучение грунтов;

криогенное выветривание скальных пород с последующей криогенной дифференциацией крупнообломочных образований, формирующих курумы;

наледообразование в местах разгрузки подземных вод;

термокарст;

термоэрозия и термоабразия;

солифлюкция;

криогенное трещинообразование с последующим формированием по трещинам систем полигонально-жильных льдов.

3.9. На начальных стадиях изысканий при составлении обосновывающих материалов необходимо установить типы, формы и размеры криогенных образований, их приуроченность к определенным элементам рельефа, связь с особенностями структурно-геологической обстановки - зонами тектонического дробления, определенными типами пород, гидрогеологическими условиями. При составлении проекта и рабочих чертежей необходимо установить причины возникновения и развития процессов, масштабы их проявления, степень развития (по площади, в разрезе), динамику во времени, скорости формирования. Необходимо оценить тенденцию и интенсивность развития криогенных процессов при определенных нарушениях природных условий, связанных с проектированием и строительством гидроузла, и степень их значимости в инженерно-геологической обстановке.

Изучение криогенных процессов и образований следует выполнять при мерзлотной съемке и на опорных участках или опытных полигонах комплексом геофизических и горнобуровых работ, геодезическими наблюдениями, лабораторными исследованиями.

3.10. Кроме традиционных показателей физико-механических и теплофизических свойств пород, слагающих основания или вмещающих подземные сооружения, следует изучать:

суммарную влажность, льдистость, льдонасыщенность мерзлых пород;

показатели деформируемости мерзлых и оттаявших пород, определяющие их осадку оттаивания ("тепловую" осадку) и осадку уплотнения (осадку под нагрузкой);

показатели прочности мерзлого, оттаивающего и оттаявшего грунта;

показатели водопроницаемости пород в мерзлом массиве и при его оттаивании, используемые для выполнения теплотехнических расчетов и определяющие фильтрационную прочность основания, водопритоки в подземные выемки и котлованы, потери на фильтрацию;

показатели теплофизических свойств - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, объемную и удельную теплоемкость пород в мерзлом и талом состояниях.

Примечание. При отсутствии данных специальных исследований значения перечисленных выше физико-механических и иных характеристик грунтов и пород можно принимать по указаниям приложения I.

3.11. Изучение свойств пород и оснований следует выполнять лабораторными методами, геофизическими методами исследований и опытными работами в натуре. Детальность исследований и конкретные задачи должны отвечать требованиям проектирования отдельных видов сооружений на определенной стадии, классу сооружения и сложности мерзлотно-геологических условий.

На ранней стадии проектирования допускается максимально использовать аналоги.

3.12. В соответствии с указаниями пп.4.1 и 4.2 на основе инженерно-геокриологических изысканий и исследований необходимо составлять схемы (модели) оснований сооружений. Примеры построения моделей приведены в приложении 2.

3.13. При проектировании необходимо проводить анализ материалов изучения мерзлотных условий, который должен заканчиваться прогнозом их изменения в связи с изменением природной обстановки, вызванным строительством сооружений.

## 4. ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ

4.1. При проектировании гидротехнических сооружений, возводимых в условиях развития многолетнемерзлых пород, на базе проведенных изысканий и исследований должны быть получены следующие материалы, дополняющие обычные характеристики оснований:

а) оценка мерзлотных условий, по которым район (участок, площадка) должен быть признан благоприятным или неблагоприятным для возведения гидротехнического сооружения;

б) оценка температурного поля, представленная в виде мерзлотно-температурных карт и разрезов по типичным и аномальным в мерзлотно-геологическом отношении направлениям, по характерным поперечникам через долину реки, по осям основных сооружений гидроузла; материалы должны отразить температурное поле в массиве в естественной природной обстановке и завершаться серией прогнозных разрезов, отражающих изменение температурного поля в основании сооружения на различные моменты его строительства и эксплуатации;

в) расчленение территории района (участка, площадки) размещения гидроузла в плане на отдельные элементы и по разрезу на отдельные зоны (горизонты, слои), в пределах которых породы характеризуются однородностью криогенного строения, определенной льдистостью и льдонасыщенностью.

4.2. Для обоснования оценки пригодности основания для строительства того или другого гидротехнического сооружения и выбора принципа строительства на основе материалов следует построить инженерно-геологические схемы (модели) основания, отражающие расположение в массиве контуров квазиоднородных по свойствам, состоянию, температурному режиму генетических объемных элементов.

4.3. В основу выбора района (участка, площадки) строительства, принципа строительства, компоновки гидроузла, типов и конструкции отдельных сооружений и методов выполнения строительных работ должен быть положен анализ особенностей состава, состояния, строения и свойств пород в массиве, используемом в качестве основания или среды, вмещающей гидротехнические сооружения.

4.4. В районах распространения вечномерзлых грунтов качество основания, как правило, определяется льдистостью пород, что необходимо учитывать при классификации пород. При выборе участка для возведения сооружения следует учитывать, что массивы сильнотрещиноватых льдонасыщенных скальных и полускальных пород могут оказаться менее благоприятными в инженерно-геологическом отношении основаниями, чем дисперсные (песчано-глинистые) толщи мерзлых пород.

4.5. В качестве мероприятий, повышающих несущую способность и обеспечивающих снижение деформаций оснований и береговых примыканий гидросооружений при использовании грунтов в мерзлом состоянии (принцип I), следует рассматривать:

установку охлаждающих устройств различного типа, предназначенных для ограничения зоны протаивания или снижения температуры основания;

устройство теплоизоляции или гидроизоляции.

4.6. При использовании вечномерзлых грунтов в качестве оснований сооружений по принципу II для уменьшения деформаций сооружений и обеспечения несущей способности в случаях, определяемых расчетом, следует рассматривать:

инъекционное укрепление трещиноватых скальных грунтов до заполнения водохранилища (после предварительного оттаивания);

позэтапное инъекционное закрепление грунтов, оттаивающих под влиянием водохранилища.

При этом необходимо учитывать следующее.

Если в массиве вечномерзлых пород значительное число открытых трещин, то следует рассматривать возможность непосредственного инъектирования этих трещин с использованием хладостойких растворов, способных затвердевать при отрицательных температурах. В этом варианте после наполнения

водохранилища и полного оттаивания пород осуществляется доводочная цементация. Объем доводочной цементации зависит от количества льда, находившегося в трещинах в период производства инъекционных работ.

Если большинство трещин в сильнотрещиноватых породах заполнено льдом, рекомендуется породы искусственно оттаивать в предпостроечный период.

Если вечномерзлые грунты оснований и береговых примыканий средней трещиноватости (водопроницаемости), то рекомендуется цементировать поэтапно, по мере их оттаивания под отепляющим воздействием водохранилища при полном напоре на сооружение.

4.7. Необходимость сохранения грунтов в мерзлом состоянии или их инъекционного закрепления после оттаивания и объемы работ устанавливаются технико-экономическими расчетами на основании материалов инженерно-геологических изысканий и учета конструктивных особенностей сооружения. При этом следует иметь в виду, что способы улучшения строительных свойств основания, как правило, требуют предварительного проведения опытных работ в натуральных условиях с целью отработки параметров цементационных работ применительно к конкретным условиям данного сооружения.

## **5. БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЛОТИНЫ**

5.1. В районах распространения вечномерзлых грунтов допускается строительство всех основных видов бетонных и железобетонных плотин.

При выборе типа и вида плотины предпочтение должно отдаваться массивным плотинам, способствующим применению высокопроизводительных механизированных способов производства бетонных работ и защите бетонной кладки сооружения от температурного трещинообразования.

Из всех видов контрфорсных плотин предпочтение должно отдаваться массивно-контрфорсным плотинам, снабженным низовым перекрытием.

5.2. Выбор типа плотины в заданном створе следует производить с учетом возможного изменения физико-механических свойств грунтов основания после их оттаивания.

Прочность и устойчивость плотины должны проверяться при частично или полностью оттаявшем основании в соответствии с его температурным состоянием в период эксплуатации или с учетом искусственного поддержания основания в мерзлом состоянии.

5.3. Для улучшения условий работы сооружений и повышения долговечности бетона наружных граней плотины следует рассматривать устройство постоянной теплоизоляции открытых поверхностей бетона, а в зонах переменного уровня воды - теплогидроизоляции.

Рекомендуемые материалы, конструкции и технологические схемы тепло- и гидроизоляции гидротехнических сооружений приведены в приложении 3. В приложении 4 изложены методы расчета теплогидроизоляции и противодиффузионных экранов из асфальтовых материалов.

5.4. В случаях, когда дренажные устройства плотины попадают в зоны сооружения с отрицательными температурами, например, в зоны переменного уровня воды в верхнем бьефе, необходимо предусматривать обогрев дренажа в этих зонах.

5.5. При проектировании бетонных плотин по II принципу (п.2.1) следует предусматривать меры, не допускающие промораживания основания (через цементационные и дренажные галереи) и замораживания бетона низовой грани в станционных секциях при неработающих трубопроводах.

5.6. С целью повышения надежности и долговечности сооружений, а также уменьшения затрат на их возведение следует рассматривать в проектах мероприятия по регулированию напряженного состояния массивных бетонных элементов плотин, добиваясь увеличения сжатия и уменьшения растяжения на гранях и в зоне контакта плотины с основанием.

Дополнительное обжатие внешних граней бетонных массивов может быть достигнуто:

а) регулярной укладкой бетона в соответствующей зоне столба;

б) созданием условий для развития в раннем возрасте бетона перепадов температуры между ядром и боковыми гранями, близких к предельно допустимым за счет использования опалубки с соответствующими теплозащитными свойствами, размещения змеевиков охлаждения во внешней зоне, поливом поверхностей холодной водой и т.д.;



в) омоноличиванием сооружения при температуре бетона ниже эксплуатационной;

г) омоноличиванием наружных зон плотины в период года, когда температура наружных граней столбов ниже, чем внутри массивов;

д) использованием силового воздействия раствора при цементации контактных швов.

5.7. В расчетах прочности сооружений с учетом раскрытия строительных швов на низовой грани при надлежащем обосновании допускается использование экспериментально установленных значений следующих характеристик замороженного бетона: коэффициента линейного расширения, модуля упругости, прочности на сжатие и растяжение.

При отсутствии экспериментальных данных величины коэффициента линейного расширения замороженного гидротехнического бетона, выполненного на заполнителях из изверженных пород, можно принимать в соответствии с указаниями, приведенными в приложении 5.

5.8. При проектировании плотин I и II классов следует предусматривать установку специальной контрольно-измерительной аппаратуры для наблюдений за:

температурными градиентами, вызывающими изгибы столбов;

развитием областей промороженного бетона, особенно в зонах примыкания бетонных сооружений к грунтовым;

ходом оттаивания основания и при необходимости изменением его свойств в процессе оттаивания;

раскрытием швов на низовой грани (межстолбчатых и межблочных);

глубиной промораживания бетона со стороны низовой грани;

температурными напряжениями на напорной и низовой гранях;

деформациями усадки и набухания бетона на напорной грани в зоне переменного уровня.

При проведении натурных наблюдений график снятия отсчетов должен предусматривать измерение максимальных и минимальных значений определяемых величин, которые в рассматриваемых районах наблюдаются в феврале-марте и августе-сентябре, а также при максимальном и минимальном уровнях воды в верхнем бьефе.

5.9. Предусмотренная проектом дистанционная аппаратура должна обеспечивать контроль за работой сооружений как при положительных, так и при отрицательных (до минус 50-60 °С) температурах.

Вторичная переносная аппаратура (частотомеры, мосты постоянного тока и пр.) должна работать при температуре до минус 40 °С.

Приборы для контроля за общими перемещениями плотины (обратные отвесы, гидростатические нивелиры, струнные створы и т.д.) должны быть защищены от воздействия низких температур воздуха зимой. В гидростатических системах приборов должны использоваться незамерзающие жидкости.

## **6. ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **Общие положения**

6.1. При проектировании плотин из грунтовых материалов необходимо предусматривать меры, обеспечивающие требуемое проектом температурное состояние грунтов основания и тела плотины при ее строительстве и эксплуатации.

6.2. Проектирование плотины в зависимости от характера вечномерзлых грунтов основания следует производить по одному из двух принципов в соответствии с указаниями п.2.1 настоящей Инструкции.

6.3. При наличии глубокого или сквозного талика под руслом крупного водотока и мощной толщи сильносжимаемых при оттаивании вечномерзлых грунтов поймы следует рассмотреть возможность и целесообразность строительства плотины, состоящей из бетонной и грунтовых частей: береговые части плотины следует выполнять из грунта, а русловую часть плотины, перекрывающую талик, из бетона. Грунтовые части плотины необходимо возводить с использованием принципа I, а бетонную - принципа II. Сопряжение между бетонной (талой) и грунтовыми (мерзлыми) частями плотины должно быть осуществлено

путем устройства замораживающих установок в примыканиях русловой части плотины с ее береговыми частями.

6.4. При наличии глубокого или сквозного подруслового талика и небольшой толщи (до 6-8 м) сильносжимаемых при оттаивании вечномерзлых грунтов на пойме, подстилаемых малосжимаемыми при оттаивании грунтами, следует предусматривать строительство грунтовой талой плотины. При этом сильносжимаемые грунты основания, как правило, следует удалить и заменить грунтом меньшей сжимаемости,

Допускается также искусственное оттаивание и уплотнение сильносжимаемых грунтов основания.

6.5. При строительстве по принципу I грунты противодиффузионного устройства плотины и подруслового талика в ее основании следует промораживать и поддерживать при эксплуатации в мерзлом состоянии. Для достижения этого должно быть предусмотрено применение сезоннодействующих охлаждающих установок (СОУ) парожидкостного, жидкостного или воздушного типа.

Расчет ледогрунтовой стенки, образуемой с помощью СОУ в теле и основании плотины, рекомендуется выполнять по методике, основанной на использовании эффективного коэффициента теплоотдачи от грунта к воздуху, которым учитываются особенности типа и конструкции СОУ (закономерности внутреннего теплообмена в СОУ и перепад температуры по глубине установки).

Примечания: 1. В тех случаях, когда глубина подруслового талика не превышает 5 м, промораживание тела земляной или каменно-земляной плотины, как правило, должно предусматриваться с помощью естественного холода при проведении работ в зимнее время. Предельная высота таких плотин и длительность строительного периода определяются теплотехническим расчетом.

2. При проектировании должны быть определены зоны под верховой и низовой призмами плотины, в которых допускается оттаивание вечномерзлых грунтов основания в процессе строительства и эксплуатации плотин мерзлого типа.

6.6. Конструкцию плотины следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов в зависимости от категории сжимаемости оттаивающей толщи вечномерзлых грунтов основания, величины напора, наличия и качества карьерных грунтов и температуры воды в водохранилище.

Примечание. Строительство талых и мерзлых плотин на торфяном (зоторфованном) основании допускается для временных и постоянных сооружений IV класса. Строительство мерзлых плотин III класса на торфяном основании допускается только при наличии специального обоснования.

6.7. Расчеты плотин и их оснований следует выполнять с учетом влияния изменения температурного режима и процессов льдообразования на физико-механические характеристики грунтов тела и основания плотин (приложение I). Обязательным является выполнение расчета стационарного (квазистационарного) температурного поля тела и основания плотины и при необходимости выполнение расчетов или экспериментальных исследований температурного режима плотины в период строительства и эксплуатации.

#### Земляные насыпные плотины

6.8. Земляные насыпные плотины, возводимые в районах распространения вечномерзлых грунтов, по конструкции тела, противодиффузионных устройств в основании, способу возведения и температурному состоянию подразделяются на основные виды, приведенные в табл.2.

Таблица 2

Отличительные признаки вида плотин	Виды плотин	
	талые	мерзлые
По конструкции тела плотины	Из однородного грунта	Из однородного грунта
	Из неоднородного грунта:	Из неоднородного грунта:
	с грунтовым ядром	с ядром
	с грунтовым экраном	
	с центральной противодиффузионной призмой	с центральной противодиффузионной призмой

	с верховой противофильтрационной призмой	с верховой противофильтрационной призмой
	С использованием негрунтовых материалов:	
	с диафрагмой	
	с инъекционным ядром	
	с экраном	
По конструкции противофильтрационных устройств в основании плотины	С понуром	С ледогрунтовой стенкой
	С зубом	
	С инъекционной (цементационной) завесой	С зубом
	С диафрагмой (стенка в грунте, асфальтобетонная или буробетонная стенка, шпунт)	
По способу возведения плотины	Послойная отсыпка грунта насухо с механическим уплотнением.	Послойная отсыпка грунтов насухо с механическим уплотнением и последующим промораживанием грунтов основания и тела плотины с помощью замораживающих установок
	Отсыпка грунта в воду	Послойная отсыпка грунтов в воду с последующим промораживанием грунтов основания и тела плотины с помощью замораживающих установок
		Отсыпка грунтов в зимнее время насухо слоями небольшой мощности с последующим механическим уплотнением и промораживанием за счет естественного холода

В мерзлой плотине водонепроницаемость следует обеспечивать поддержанием мерзлого состояния грунтов части ее тела и основания. При эксплуатации плотины фильтрация через ее тело и основание, а также оттаивание грунтов основания противофильтрационного устройства не допускается.

В талой плотине водоупорность следует обеспечивать наличием противофильтрационных устройств в теле и основании, а в однородной плотине - назначением надлежащей длины пути фильтрации.

6.9. Мерзлому типу плотины следует отдавать предпочтение при перечисленных ниже инженерно-геологических и мерзлотных условиях створа:

а) основание сложено сильносжимаемыми при оттаивании грунтами (III категория сжимаемости оттаивающей толщи грунтов, коэффициент оттаивания больше 0,05 - приложение I);

б) скорость подруслового потока в области талика не превышает  $3 \cdot 10^{-5}$  м/с, а мощность талика по глубине не более 10 м.

Примечание. При более высоких значениях скорости фильтрационного потока и мощности талика возможность его промораживания должна устанавливаться на основе теплотехнического расчета. При этом рекомендуется для облегчения условий промораживания грунтов талика рассмотреть возможность их предварительной цементации, глинизации или силикатизации.

6.10. Талому типу плотины следует отдавать предпочтение при перечисленных ниже инженерно-геологических и мерзлотных условиях створа:

а) основание представлено скальными, полускальными, малосжимаемыми и сжимаемыми при оттаивании нескальными вечномерзлыми грунтами (I и II категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов, коэффициент оттаивания не превышает 0,05 - приложение I);

б) в русле водотока имеется глубокий или сквозной талик, а борта и пойма долины сложены грунтами, указанными в подпункте 6.10а.

6.11. Плотины с асфальтобетонными диафрагмами следует возводить на талых и мерзлых основаниях I-II категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов.

6.12. Полиэтиленовые противofильтрационные устройства должны применяться в перемычках, дамбах и земляных плотинах III-IV классов. Применение полиэтиленовых противofильтрационных устройств для плотин I и II классов требует специального обоснования.

6.13. Плотины с металлическими диафрагмами допускается возводить на талых и мерзлых основаниях I категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов, представленных скальными, полускальными, крупнообломочными и песчаными грунтами. Их применение рекомендуется рассматривать в следующих случаях:

а) при отсутствии грунтов для создания противofильтрационных устройств плотины;

б) при необходимости резкого сокращения срока строительства плотины.

6.14. Для образования грунтовых противofильтрационных устройств мерзлых плотин следует применять талые незасоленные глинистые, крупнообломочные и гравийно-дресвяные грунты с суглинистым и супесчаным заполнителем, а также пылеватые песчаные грунты, способные удерживать в порах воду, необходимую для образования водонепроницаемого ледогрунтового массива. Значение коэффициента фильтрации грунта должно быть не более  $10^{-5}$  м/с.

При возведении противofильтрационного устройства путем отсыпки грунта в воду можно применять указанные грунты как в талом, так и в мерзлом состоянии. Значение коэффициента водонасыщения грунта, уложенного в противofильтрационное устройство плотины, должно быть не более 0,90.

6.15. Для образования грунтовых противofильтрационных устройств талых плотин применение крупнообломочных и гравийно-дресвяных грунтов с суглинистым или супесчаным заполнителем, а также искусственных грунтовых смесей, имеющих в своем составе менее 45% песчаных и глинистых частиц ( $d < 2$  мм), и засоленных естественных грунтов требует специального обоснования.

6.16. Толщину и количество слоев переходных зон мерзлых плотин следует определять из условия обеспечения непросыпаемости материала переходных зон в каменную наброску (в материал упорной призмы) и технологичности работ по возведению переходных зон, а талых плотин - в соответствии с рекомендациями СНиП по проектированию плотин из грунтовых материалов.

6.17. Контрольная плотность укладки грунта в тело плотины должна назначаться по результатам лабораторных испытаний грунтов исходя из следующих требований:

обеспечения параметров сдвига грунтов, гарантирующих устойчивость откосов плотины, с учетом их изменения при замерзании и оттаивании;

обеспечения фильтрационной прочности плотины с учетом самоуплотнения грунта после укладки как к моменту наполнения водохранилища, так и в процессе ее эксплуатации;

обеспечения сжимаемости грунтов противofильтрационных устройств, определяемой с учетом процесса их консолидации, гарантирующей от образования трещин.

Для плотин I и II классов величина контрольной плотности грунтов должна назначаться по результатам укатки грунтов на опытных насыпях, возводимых в профилейных объемах проектируемого сооружения или в районе площадки строительства.

Контрольная плотность грунта, укладываемого в ядро мерзлой плотины, должна обосновываться с учетом данных расчета его замораживания.

6.18. Монолитные асфальтобетонные диафрагмы грунтовых плотин следует выполнять из литого крупнозернистого асфальтобетона с содержанием битума марки БНД 60/90 10-16% от веса их минеральной части, а сборные диафрагмы - из пластичного крупнозернистого асфальтобетона с содержанием битума 7-12%.

6.19. При выполнении полиэтиленовых противофильтрационных элементов следует применять пленочный и листовой рулонный стабилизированный полиэтилен толщиной не менее 0,2 мм, обладающий следующими свойствами (ГОСТ 10354-73\* "Пленка полиэтиленовая"):

\* Действует ГОСТ 10354-82.

разрушающее напряжение при растяжении не менее 12,0 МПа;

относительное удлинение при разрыве не менее 200%;

температура хрупкости не выше 60 °С.

6.20. Для устройства металлических диафрагм при температуре наружного воздуха ниже минус 40 °С следует использовать сталь Ст.3 или Ст.5, или шпунт из низколегированной стали марки 15ХСНД. При более высоких температурах наружного воздуха следует использовать сталь марок Ст.1 и Ст.3 с пределом прочности 320-450 МПа и относительным удлинением 20-25%. Для обеспечения коррозионной долговечности диафрагмы рекомендуется применять сталь указанных марок с добавкой меди в количестве 0,1-0,2%.

6.21. Расчеты устойчивости откосов талых и мерзлых плотин необходимо выполнять с учетом изменения параметров сдвига грунтов, слагающих откосы и основания плотин, при их оттаивании и промерзании. При этом следует учитывать, что часть массива обрушения может находиться в талом, а другая - в мерзлом состоянии.

На откосах высоких плотин следует предусматривать устройство берм, определяя их количество в зависимости от высоты плотины, материала грунта откоса, типов его крепления и общей устойчивости откоса.

При строительстве мерзлых плотин на основаниях III категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов рекомендуется предусматривать устройство широких берм на верховом откосе плотины для компенсации неравномерной осадки его основания при оттаивании.

6.22. Дренаж талой плотины следует располагать в непромерзающей части профиля плотины. При определении местоположения дренажа разрешается учитывать тепляющее влияние фильтрационного расхода, проходящего через дренаж при эксплуатации.

В низконапорных плотинах, промерзающих в процессе эксплуатации, допускается промерзание дренажа при условии, что низовой клин плотины гарантирован от разрушения:

при передаче на него гидростатического давления;

в случае оттаивания низового клина при замороженном дренаже.

6.23. Коллектор низконапорной плотины, собирающий и отводящий воду дренажных устройств, должен быть защищен от промерзания.

6.24. Сопряжение талой плотины с мерзлым нескальным основанием следует выполнять при помощи зуба. Если основание сложено крупнообломочным малосжимаемым и сильнофильтрующим после оттаивания грунтом, то следует рассмотреть вариант плотины с понуром или предусмотреть предварительное оттаивание грунтов основания на глубину активной зоны фильтрации и их закрепление путем цементации.

6.25. Сопряжение средне- или высоконапорной талой плотины с трещиноватым мерзлым скальным основанием следует производить при помощи бетонного зуба, под которым устраивается противофильтрационная завеса. В зависимости от трещиноватости скальных пород цементация основания выполняется либо по мере его оттаивания в процессе эксплуатации плотины, либо до начала заполнения водохранилища с предварительным оттаиванием основания.

Сопряжение низконапорной талой плотины с трещиноватым мерзлым скальным основанием следует выполнять путем покрытия основания слоем набрызг-бетона, асфальтобетона или путем расширения грунтового ядра (экрана) в зоне контакта с основанием. В случае необходимости выполняется площадная укрепительная цементация основания или устройство зуба.

6.26. При сопряжении талой плотины с берегами следует учитывать оттаивание берегового массива и в соответствии с размерами области оттаивания заглублять в берег противофильтрационное устройство плотины. Размеры области оттаивания берегового массива определяются теплотехническим расчетом.

6.27. Сопряжение мерзлой плотины с основанием и берегами следует производить без врезки противофильтрационного устройства плотины в основание и берега. При этом следует предусматривать промораживание грунтов тела и основания с помощью сезоннодействующих замораживающих установок или за счет их естественного охлаждения при послонном возведении плотины только в зимнее время года, а также сочетание двух указанных методов. Глубина заделки СОУ в основание и в берега определяется теплотехническим расчетом.

Примечание. Применение рассольных замораживающих установок, работающих от холодильных машин, не допускается.

6.28. При проектировании воздушной СОУ следует предусматривать поступление холодного атмосферного воздуха во внутреннюю трубу замораживающей колонки и выход через ее кольцевой зазор, а также автоматическое отключение установки при повышении температуры наружного воздуха и включение при ее понижении до величины, установленной в проекте.

6.29. Промораживание грунтов ядра или противofильтрационной призмы мерзлой плотины с помощью СОУ до достижения ледогрунтовой стенки толщины, заданной проектом, должно быть выполнено до начала наполнения водохранилища.

Возможность консервации СОУ на весь зимний сезон или его часть устанавливается по данным натурных наблюдений за температурным режимом плотины и должна быть согласована с проектной организацией.

#### **Земляные намывные плотины**

6.30. Для обоснования проектов намывных плотин следует предусматривать проведение специальных научно-исследовательских и опытных работ.

6.31. При рассмотрении варианта намывной плотины сезон производства работ способом гидромеханизации должен определяться из условия перехода среднесуточной температуры воздуха через минус 5 °С.

6.32. Возведение намывных плотин следует считать целесообразным при наличии в районе строительства мощных залежей талых песчаных или гравийных грунтов и запасов воды, достаточных для разработки этих грунтов землесосными снарядами.

#### **Каменно-земляные и каменнонабросные плотины**

6.33. Талые каменно-земляные плотины, как правило, следует проектировать на талых и мерзлых основаниях I категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов. Проектирование талых каменно-земляных плотин на основаниях II категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании.

Мерзлые каменно-земляные плотины, как правило, следует проектировать на основаниях I-II категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов.

Мерзлые и талые каменнонабросные плотины, как правило, следует проектировать на талых и мерзлых основаниях I категории сжимаемости оттаивающей толщи грунтов.

6.34. Расчет устойчивости откосов талых и мерзлых каменно-земляных плотин следует производить так же, как для земляных плотин (п.6.21).

6.35. Проектирование грунтовых противofильтрационных устройств мерзлых каменно-земляных плотин должно производиться так же, как и для талых плотин.

6.36. При проектировании талой каменно-земляной плотины на мерзлом нескальном основании сопряжение ядра или экрана надлежит предусматривать путем устройства зуба, прорезающего толщу сжимаемых при оттаивании грунтов и врезающегося в толщу малосжимаемых при оттаивании грунтов основания.

Если толща малосжимаемых при оттаивании грунтов находится на значительной глубине, рекомендуется устройство инъекционной завесы, буробетонной или траншейной стенки.

6.37. Сопряжение грунтовых ядер и экранов талых каменно-земляных плотин и асфальтобетонных диафрагм каменнонабросных плотин с мерзлыми и талыми берегами надлежит производить врезкой их в берега. Если береговой массив сложен сильнотрещиноватыми скальными породами или нескальными водопроницаемыми грунтами, в берегах надлежит устраивать противofильтрационные завесы, сопрягаемые с противofильтрационным элементом плотины. Длину и глубину береговой противofильтрационной завесы следует назначать в соответствии с результатами теплотехнических и фильтрационных расчетов.

6.38. Для предотвращения образования наледей в береговых примыканиях талых каменно-земляных и каменнонабросных плотин за береговыми завесами надлежит устраивать дренаж, защищенный от замерзания, из которого вода должна отводиться.

## 7. ВОДОПРОПУСКНЫЕ И ВОДОПРИЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

### Общие положения

7.1. Конструкции водосбросных и водоприемных сооружений, располагаемых на основаниях, сложенных вечномерзлыми грунтами, и условия сопряжения бьефов должны назначаться с учетом температуры грунтов основания и изменения их физико-механических свойств в процессе возможного оттаивания.

7.2. Выбор принципа строительства (п.2.1) водопропускных и водоприемных сооружений следует производить:

для водосбросов, располагаемых в составе плотины, так же как для самой плотины;

для береговых водосбросов - на основе технико-экономического сопоставления вариантов.

При осуществлении принципа I должны предусматриваться специальные теплоизоляционные и противодиффузионные мероприятия.

7.3. При выборе береговых водопропускных сооружений предпочтение следует отдавать туннельным конструкциям.

7.4. При проектировании талых земляных плотин на нескальных основаниях водоприемные, водопропускные и водозаборные сооружения следует, как правило, располагать в берегах, в стороне от плотины. В случаях, когда указанные сооружения проектируются в теле плотины, их следует располагать на участках створа, характеризующихся наименьшей сжимаемостью грунтов (в пределах подруслового талика).

7.5. При проектировании мерзлых грунтовых плотин водоприемные, водопропускные и водозаборные сооружения следует располагать в берегах, в стороне от плотины. При расположении указанных сооружений на льдонасыщенных грунтах необходимо обеспечить водонепроницаемость и теплоизоляцию сооружения с тем, чтобы предотвратить возможность оттаивания грунтов основания.

7.6. При проектировании водосбросов плотин I, II, III классов в рассматриваемых районах следует выполнять лабораторные гидравлические исследования.

При проведении модельных гидравлических исследований по прогнозированию местных размывов и переформированию русла и берегов в нижнем бьефе, а также при установлении границ безопасной застройки в нижнем бьефе гидротехнических сооружений следует учитывать свойства мерзлых грунтов и их изменение при взаимодействии с водным потоком.

### Учет ледовых условий

7.6. При выборе компоновочных и конструктивных решений водосбросных сооружений следует учитывать условия пропуска льда как в строительный, так и в эксплуатационный периоды. Вопрос о пропуске льда или его задержании следует решать в зависимости от скорости течения в верхнем бьефе и ледовых условий на реке. Пропуск льда через сооружения является не обязательным, если средние скорости потока в верхнем бьефе меньше 0,5 м/с.

7.7. Для пропуска льда в строительный период через суженное перемычками русло реки должны быть обеспечены: достаточная ширина русла (прорана), минимальная глубина воды в сужении (не менее 5-6 м) и достаточная высота ограждающих перемычек.

Высота перемычек, ограждающих строящиеся сооружения, должна назначаться с учетом возможного повышения уровней в верхнем и нижнем бьефах при прорыве заторов на вышерасположенных участках реки и при образовании заторов за сужением.

7.8. При пропуске льда через гребенку бетонных плотин ширину отдельных пролетов и всего водосбросного фронта следует назначать с учетом толщины и прочности пропускаемого через сооружение льда.

7.9. С целью предотвращения повреждений верхних строений плотины движущимся льдом низ верхних строений в пролете должен возвышаться над поверхностью воды на 3,5-4,0 м.

7.10. При пропуске льда через донные водосбросы в целях создания условий подныривания льда следует обеспечивать требуемую глубину затопления верха донного водосброса и критическую скорость течения перед сооружением.

7.11. При пропуске льда через плотины толщина слоя воды на водосливной поверхности должна превышать максимальную толщину льда. В противном случае следует принимать меры против истирания либо повреждения льдом гребня, низового откоса и верхней части верхового откоса плотины.

Вопросы, связанные с организацией пропуска воды и льда через плотины из грунтовых материалов всех классов, должны решаться на основании результатов модельных исследований.

7.12. С целью улучшения условий пропуска льда следует предусматривать мероприятия по регулированию ледового режима (механическое разрушение льда, взрывание льда и т.п.) и скоростей течения в районе сооружений (управление уровнями воды в бьефах).

### **Требования к механическому оборудованию**

7.13. В составе механического оборудования должны предусматриваться основные, аварийно-ремонтные и ремонтные затворы. Для поверхностных водосбросов следует отдавать предпочтение затворам с незатопляемыми опорно-ходовыми частями, например, сегментным. Отказ от установки ремонтных затворов должен быть обоснован.

К металлу затворов и опорных частей должны предъявляться требования по хладостойкости.

7.14. В качестве подъемных механизмов для основных затворов рекомендуется предусматривать гидроподъемники преимущественно с централизованной маслonaпорной установкой, с размещением оборудования в отапливаемом помещении.

7.15. Для снятия или уменьшения давления льда на пролетные строения затворов рекомендуется предусматривать борботаж воды или механическую резку льда с устройством прорези по фронту пролетных строений. Борботаж рекомендуется применять в случаях, когда температура воды в верхнем бьефе в зимнее время не ниже 0,1 °С и теплые воды располагаются не ниже 10 м от поверхности.

7.16. Для обеспечения надежной работы элементов механического оборудования затворы и закладные части следует оборудовать системой обогрева (непрерывного действия). Периодический обогрев применяется для освобождения от намерзшего на конструкции льда.

Для обогрева затворов и их закладных частей в первую очередь рекомендуется применять следующие системы: индукционный электрообогрев; калориферный обогрев.

7.17. При определении необходимой для обогрева мощности нагревательных устройств рассматриваются следующие расчетные ситуации:

затвор находится в воде, требуется предотвратить его обледенение;

затвор находится в воде, требуется за заданное время освободить его от намерзшего льда;

затвор поднят, требуется предотвратить его обледенение;

затвор поднят, требуется за заданное время освободить его от намерзшего льда.

### **Водоприемники и здания ГЭС**

7.18. При соответствующих условиях в рассматриваемых районах следует проектировать преимущественно подземные здания ГЭС, либо здания в глубоких скальных выемках.

7.19. Щитовое отделение следует проектировать отапливаемым, с устройством ниш для резервных затворов и решеток, хранение которых следует предусматривать в условиях положительной температуры.

Для русловых ГЭС не допускается вынесение затворов и сороудерживающих решеток в верхний бьеф за пределы здания.

7.20. При размещении водоприемников ГЭС в условиях интенсивного образования шуги следует предусматривать очистку или обогрев решеток, предотвращающие закупорку шугой. Для регистрации образующихся перепадов на решетках должны быть предусмотрены перепадамеры, показания которых выводятся на пульт.

7.21. При проектировании трубопроводов следует предусматривать их защиту от промерзания. Конструкция защиты должна быть обоснована теплотехническими и технико-экономическими расчетами.

Для случаев вынужденных остановок в работе трубопровода необходимо предусматривать устройство специальных выпусков в наиболее пониженные места трассы с отводом сбрасываемой воды в сторону от трубопровода.

7.22. При проектировании здания ГЭС с напорными водоводами дренаж, предусматриваемый для перехвата фильтрационных вод, должен быть предохранен от промерзания.



## 8. ПОДЗЕМНЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

8.1. При выборе типа и конструкции здания ГЭС следует, как правило, отдавать предпочтение расположению зданий ГЭС и водоводов в подземных выработках, учитывая следующие преимущества перед открытым типом этих сооружений:

значительно проще обеспечивается непрерывное круглогодичное проведение строительных работ;

уменьшаются эксплуатационные расходы и численность эксплуатационного персонала;

улучшаются условия эксплуатации сооружения и основного оборудования.

Указанные преимущества в отдельных случаях могут иметь также подземные водозаборные сооружения и подводящие и отводящие деривационные тоннели.

8.2. В напорных водоводах тоннельного типа, как правило, следует предусматривать железобетонную обделку, а на участке примыкания к спиральной камере - противофильтрационную металлическую облицовку.

В тоннелях и водоводах, расположенных в многолетнемерзлых, прочных и относительно малотрещиноватых скальных породах, следует рассматривать возможность отказа от устройства железобетонной обделки и несущей анкерной крепи и применять более простые меры для крепления пород (набрызг-бетон, неглубокая анкерная крепь). Это в полной мере распространяется также на временные и строительные тоннели и водоводы.

8.3. При проектировании тоннелей в многолетнемерзлых породах следует, как правило, проектировать напорные тоннели как обеспечивающие более стабильные и равномерные условия работы скального массива и обделки.

При рассмотрении безнапорного варианта тоннеля следует учитывать отрицательное воздействие переменного температурного поля на состояние скального массива в безнапорной зоне и возможность постепенного его разрушения над сводом, особенно при значительном проценте льдистости породы.

8.4. Подземные выработки, предназначенные для машинных залов гидроэлектростанций, при малой трещиноватости скального массива по своду должны крепиться глубокой анкерной крепью, обеспечивающей образование пороодоанкерного свода, с набрызг-бетоном или железобетонной несущей оболочкой; стены выработки должны крепиться анкерами и отдельными прианкеренными в скале железобетонными пилонами, служащими одновременно опорными колоннами подкрановых балок.

При значительной трещиноватости и льдистости скального массива следует рассматривать возможность применения обжатой монолитнопрессованной обделки свода или образование пороодоанкерного свода и стен без проведения заполнительной цементации.

8.5. При проектировании подземных гидротехнических сооружений кроме обычных расчетов, предусмотренных нормами проектирования подземных сооружений, следует выполнять дополнительно температурные расчеты окружающего сооружения массива как в процессе проходки, так и для условий постоянной эксплуатации сооружения, и расчеты переформирования горного давления на обделку, вызванного температурными изменениями в массиве. В расчетах должна быть определена степень разгрузки массива и величина перемещений контура выработки до и после устройства железобетонной обделки и в случае отказа от нее.

8.6. Расчеты массива многолетнемерзлой породы, окружающей подземную выработку, следует выполнять с помощью ЭВМ, а температурные - также методом электротепловых аналогий (сеточные электроинтеграторы и ЭГДА).

Температурные расчеты должны учитывать изменения фазового состояния заполняющего трещины льда, а также изменение теплофизических характеристик пород массива в мерзлом и талом состоянии, определенных при проведении инженерно-геологических изысканий и исследований. На предварительных стадиях проектирования значения теплофизических характеристик пород можно принимать по табл.13 и 14 приложения I настоящей Инструкции.

При расчетах напряженно-деформированного состояния окружающего выработку массива следует учитывать изменение прочностных и деформационных характеристик пород в связи с изменением фазового состояния заполняющего трещины льда.

8.7. Для многолетнемерзлых пород, для которых затруднено определение горного давления с помощью натуральных исследований, допускается проведение исследований процесса формирования горного давления на моделях из эквивалентных материалов или в сочетании с исследованиями на фотоупругих моделях.

8.8. Для массивов, отличающихся льдистостью более 1%, распученных при промерзании, следует учитывать возможность осадки подземных сооружений после оттаивания этих массивов.

В случае малого заглубления подземного гидротехнического сооружения, когда ореол оттаивания подходит к зоне попеременного оттаивания и замерзания (активной зоне у поверхности массива) или захватывает ее, следует считаться с возможностью образования на поверхности воронки оседания. Качественная и количественная оценка указанного явления должна устанавливаться по результатам температурного расчета массива с учетом инженерно-геологической оценки строения массива, проводимой в соответствии с указаниями раздела 3 настоящей Инструкции.

8.9. При наличии крупных нарушений сплошности массива вблизи подземных выработок (крупных трещин, зон дробления материала массива и т.п., род заполнителя в них, наличие и количество льда и жестких контактов) следует принимать меры к возможному ограничению их отрицательного влияния (глубокая анкеровка, замена разрушенной скалы и заполнителя трещин бетоном и т.п.).

8.10. При проектировании крупных подземных выработок (тоннелей более 8 м и камерных выработок машинных залов ГЭС, щитовых помещений и т.п.) необходимо определять естественное напряженное состояние вмещающего выработку массива. Такое определение должно производиться с помощью непосредственных измерений в натуре, а также расчетом или модельными исследованиями. При прогнозировании естественного напряженного состояния массивов рекомендуется учитывать также влияние разработки открытых котлованов, врезок и других выработок, проводимых в районе расположения проектируемых подземных сооружений.

8.11. При проектировании подземных выработок следует предусматривать в период строительства и эксплуатации сооружений организацию и проведение кроме обычных специальных натурных наблюдений, связанных с наличием мерзлоты, а именно:

а) измерения температуры массива вокруг выработки на расстоянии прогнозируемого оттаивания и температуры воздуха внутри выработки;

б) наблюдения за формированием уровня подземных вод в массиве после оттаивания льда, заполняющего трещины, и давлением грунтовой воды на обделку;

в) измерения деформаций и перемещений контура выработки и дневной поверхности в процессе разработки и строительства сооружения, в том числе наблюдения за образованием воронки осадки на поверхности для сильнольдистых пород при близком расположении подземной выработки к дневной поверхности;

г) измерения деформаций на следе крупных тектонических трещин в процессе оттаивания массива.

## **9. ПРИЧАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

### **Общие положения**

9.1. При проектировании причальных сооружений необходимо рассматривать следующие конструкции: бальверки, уголковые стенки, набережные из массивов-гигантов и шпунтовых ячеек и др. Допускается применение конструкций с использованием льда и мерзлого грунта.

9.2. При проектировании причальных сооружений следует учитывать ледовые условия в период строительства и эксплуатации. В частности, причалы желателен располагать вне зоны торошения льда. В необходимых случаях следует предусматривать расположение сооружений в искусственно созданных ковшах или под защитой дамб.

9.3. При островном расположении вечномерзлых грунтов следует рассматривать возможность возведения причальных сооружений на участках с талыми грунтами.

9.4. На мерзлых и талых сильнодеформируемых грунтах следует возводить причальные сооружения при выполнении одного из следующих мероприятий:

предварительной подготовки основания (предварительное оттаивание, уплотнение, частичная замена грунта, устройство буронабивных свай и др.);

применении конструкций, допускающих значительные деформации основания без потери несущей способности по условиям устойчивости сооружения и прочности его элементов;

сохранении мерзлоты в основании или понижении ее температуры.

9.5. Для образования или сохранения мерзлого состояния грунта основания или засыпки сооружения допускается применение систем охлаждения с использованием естественного холода, а при соответствующем технико-экономическом обосновании - использование искусственного замораживания. При этом следует предусматривать защиту мерзлого грунта от попадания в него солей и других веществ, вызывающих его размораживание, а также мероприятия по предотвращению морозного пучения.

9.6. Натурные наблюдения и исследования причальных сооружений должны производиться в соответствии с требованиями СНиП по основным положениям проектирования речных и морских гидротехнических сооружений, а также требованиями п.2.6-2.7 настоящей Инструкции.

#### **Требования к строительным материалам**

9.7. Бетон для строительства и ремонта причальных сооружений следует принимать в соответствии с требованиями СНиП по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений, а также настоящей Инструкции.

9.8. Марки бетона должны быть не ниже указанных в табл.3. При расположении причальных сооружений в нижних бьефах ГЭС и в других случаях, когда годовое число циклов замораживания и оттаивания бетона превышает 100, следует принимать марку по морозостойкости Мрз 400 и выше или применять теплозащиту бетона.

Таблица 3

Зона расположения бетона в сооружении	Марки бетона в 28-дневном возрасте не ниже	
	Железобетонные конструкции	Бетонные и малоармированные конструкции
Переменного уровня	М 400	М 300
	Мрз 300	Мрз 300
	В 8	В 8
Надводная	М 300	М 250
	Мрз 200	Мрз 150
	В 6	В 6
Подводная и подземная: для морских сооружений	М 300	М 250
	Мрз 200	Мрз 150
	В 6	В 6
для речных сооружений	М-200	М 200
	Мрз 100	Мрз 100
	В 4	В 4

Примечание. Зона переменного уровня воды ограничена снизу наинизшим уровнем воды, уменьшенным на толщину льда, сверху - наивысшим уровнем воды, увеличенным на 1 м или на высоту всплеска воды, если она превышает 1 м. Надводная зона располагается выше, а подводная и подземная зоны - ниже зоны переменного, уровня.

Марка по морозостойкости бетона, находящегося при отрицательной температуре длительное время в сухом состоянии, может быть снижена до Мрз 200-150. При этом должны быть учтены местные климатические и гидрологические особенности, ориентация сооружения, конструкция сооружения и другие факторы.

9.9. Для омоноличивания узлов и стыков бетонных и железобетонных элементов следует применять марки бетона по прочности не ниже марки бетона основных конструкций, если марка его не ниже М 400 для морских сооружений и М 300 для речных сооружений.

В других случаях омоноличивание должно осуществляться бетоном с маркой на ступень выше марки бетона основной конструкции.

9.10. Водоцементное отношение для бетона назначается в соответствии с табл.4.

Таблица 4

Зона расположения бетона в сооружении	Водоцементное отношение, не более			
	Морские причальные сооружения и речные причальные сооружения в устьях рек приливных морей		Речные причальные сооружения	
	железобетонные конструкции	бетонные и малоармированные конструкции	железобетонные конструкции	бетонные и малоармированные конструкции
Переменного уровня	0,4	0,43	0,45	0,45
Надводная	0,5	0,55	0,50	0,55
Подводная и подземная	0,5	0,55	0,55	0,60

9.11. В конструкциях следует применять сульфатостойкий портландцемент, а для речных причальных сооружений также портландцемент и портландцемент с минеральными добавками при содержании их в клинкере не более 8%  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  по ГОСТ 10178-76\* и ГОСТ 22266-76\*\*.

\* Действует ГОСТ 10178-85.

\*\* Действует ГОСТ 22266-94.

Для надводной зоны допускаются и другие виды портландцементов, а для подводной и подземной зон, кроме того, пуццолановые портландцементы и шлакопортландцементы.

При действии на бетон агрессивной воды выбор цемента следует производить в соответствии с требованиями СНиП по проектированию защиты строительных конструкций от коррозии.

9.12. Заполнители для бетона должны соответствовать требованиям ГОСТ 10268-80.

9.13. Для повышения морозостойкости бетона, снижения расхода цемента, повышения плотности и водонепроницаемости, улучшения технологических свойств следует в состав бетона вводить комплексные добавки, включающие воздухововлекающие или газообразующие.

9.14. Применение противоморозных добавок (хлористого кальция, хлористого натрия, поташа) запрещается в следующих случаях:

в сборных железобетонных тонкостенных элементах;

для бетона омоноличивания стыков;

в бетонных конструкциях, работающих в условиях воздействия агрессивной среды;

в бетонных конструкциях, к внешнему виду которых предъявляются повышенные требования.

9.15. Прочность бетона конструкций, предназначенных для эксплуатации в особо суровых климатических условиях (с расчетной минимальной температурой наружного воздуха ниже минус 40 °С), к моменту замерзания должна быть:

в зоне переменного уровня воды и в конструкциях, контактирующих с мерзлым грунтом, не менее 100% проектной прочности;

в остальных случаях не ниже 70% проектной прочности.

9.16. Для ненапряженных железобетонных конструкций следует применять в качестве расчетной арматуры из стали класса А-III марки 25Г2С и класса Ас-II марки 10ГТ.

Для предварительно напряженных железобетонных элементов следует для любых зон применять в качестве расчетной арматуры из стали класса А-IV марки стали 20ХГ2Ц и класса А-V марки 23ХГ2Т.

В качестве нерасчетной рекомендуется применять арматуру из стали класса А-I марки ВСт.3сп2 и ВСт.3Гпо2.

9.17. Для монтажных (подъемных) петель элементов сборных конструкций должна применяться арматура из стали класса А-I марки ВСт.3сп2 или класса Ас-II марки 10ГТ. В случае, если монтаж конструкции будет производиться при температурах выше минус 40 °С, допускается применение стали марки ВСт.3пс2.

9.18. Стальные шпунтовые и трубчатые сваи следует применять из стали марки ВСт.3сп5 по ГОСТ 380-71\*<sup>1)</sup> с дополнительной гарантией свариваемости и стали марки 15ХСНД по ГОСТ 19281-73\*\* или марки 10Г2С1Д по ГОСТ 19282-73 с дополнительными гарантиями свариваемости и ударной вязкости не ниже 30 Н·м/см<sup>2</sup> при температуре испытания минус 40 °С.

1) Здесь и далее. Действует ГОСТ 380-94.

\*\* Действует ГОСТ 19281-89.

Для изготовления анкерных тяг и деталей их соединений следует применять сталь марок ВСт.3сп2 и ВСт.3Гпс2 по ГОСТ 380-71\* и марки 09Г2СД категории 6 или 12 по ГОСТ 19282-73.

Примечание. Применение сталей других марок допускается в соответствии с требованиями СНиП по проектированию стальных конструкций или при специальном обосновании.

9.19. Древесину и клееные деревянные конструкции целесообразно использовать в элементах сооружения, не подверженных непосредственному воздействию льда. Для улучшения эксплуатационных качеств деревянных конструкций и защиты их от древоточцев рекомендуется пропитка синтетическими смолами.

В зоне переменного уровня воды деревянные конструкции требуют, как правило, защиты от истирающего и динамического воздействия льда.

9.20. Для повышения прочностных характеристик льда, используемого в качестве строительного материала, следует рассмотреть возможность его армирования, например, древесными или синтетическими волокнами и т.д.

### Основные расчетные положения

9.21. Нагрузки, воздействия и их сочетания, характеристики грунтов и материалов следует принимать по требованиям соответствующих СНиП с учетом указаний настоящей Инструкции.

9.22. Нагрузки от льда на сооружение следует принимать в составе основного сочетания нагрузок и определять согласно требованиям СНиП на нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) с учетом указаний настоящей Инструкции. При этом нагрузки от льда, по возможности, уточняются по натурным измерениям.

В случае пропуска ледохода над затопляемым сооружением следует учитывать вертикальное давление от нагромождения льда.

9.23. Расчетную толщину льда следует принимать в соответствии с требованиями СНиП на нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) или по данным натурных измерений в период ледохода, вскрытия ледового покрова акватории с помощью ледокола, а также при ветровых нагонах льдин в акваторию порта.

9.24. Прочностные характеристики льда определяются по результатам натурных измерений. При отсутствии таких данных рекомендуется прочностные характеристики речного льда принимать по СНиП на нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов), а для морского и речного льда в устьях рек, впадающих в арктические моря, определять согласно указаниям приложения 6 настоящей Инструкции.

9.25. При отсутствии данных по размерам льдин и их скорости движения допускается определение нагрузок только из условия разрушения льда.

9.26. Расчетные усилия в элементах конструкции допускается определять как сумму усилий от ледовой нагрузки и усилий, возникающих при воздействии других нагрузок, входящих в расчетное сочетание.

9.27. Расчеты устойчивости, прочности, осадок сооружений в процессе строительства и эксплуатации следует производить с учетом изменения прочностных и деформативных характеристик грунта в основании и засыпке вследствие изменения температурного режима.

9.28. При проектировании железобетонных тонкостенных конструкций речных сооружений следует выполнять проверку прочности и трещиностойкости элементов (с лимитированным раскрытием трещин) в зимний и летний периоды с учетом температурных напряжений и изменения механических характеристик бетона при замораживании.

9.29. Теплотехнические расчеты необходимо выполнять в следующих случаях:

при использовании мерзлых грунтов и льда в качестве строительного материала;

при строительстве или реконструкции сооружений с сохранением мерзлоты в основании или обратной засыпке;

при использовании для лицевых элементов набережных конструкций из тонкостенного железобетона, особенно не прямоугольного сечения;

при прогнозировании температурного режима грунтов и конструкций в процессе строительства и эксплуатации сооружений;

в отдельных случаях при проектировании анкерных устройств.

Теплотехнические расчеты могут не выполняться только при соответствующем обосновании.

9.30. При расчетах ледяных и ледогрунтовых сооружений следует выполнять проверку на устойчивость и на всплывание. При этом следует учитывать подъемную силу взвешенного в воде льда и силы смерзания с основанием или конструкцией, при наличии обоснованных данных об их величинах.

#### **Основные требования к конструкциям и их элементам**

9.31. Причалные сооружения следует проектировать с максимальной степенью сборности, применяя унифицированные элементы с надежными и простыми соединениями, позволяющими производить монтаж конструкций при низких температурах. Следует стремиться к уменьшению числа стыков сборных элементов, вынесению их из зоны переменного уровня воды и при необходимости предусматривать защиту от воздействия льда и отрицательных температур.

9.32. При соответствующем технико-экономическом обосновании следует предусматривать мероприятия по защите сооружения и его элементов от наледей, динамического, статического и истирающего воздействия льда.

9.33. При проектировании причальных сооружений следует предусматривать мероприятия для снижения величины морозного пучения и исключения образования морозобойных трещин в основании и засыпке, например, путем устройства пригрузки из песчано-гравийного или щебеночного грунта толщиной не менее глубины сезонного промерзания для данного района.

9.34. Для причальных сооружений высотой более 15 м следует рассматривать целесообразность устройства причалов с территорией, устраиваемой на двух и более уровнях.

9.35. При проектировании затопляемых при прохождении паводка причальных сооружений необходимо предусматривать защиту от повреждений льдом конструктивных элементов сооружения, подкрановых и железнодорожных путей, оборудования, расположенного на причале, а также покрытия территории и обратной засыпки.

9.36. При проектировании причальных сооружений из стального шпунта необходимо стремиться к уменьшению количества сварных узлов, газовой резки и других концентраторов напряжения. Нарращивание шпунта в сооружении сваркой допускается только в исключительных случаях при температуре не ниже 5 °С с помощью двухсторонних накладок.

Погружение стального шпунта и свай допускается при температуре не ниже той, при которой соблюдены требования по ударной вязкости металла.

9.37. Для снижения нагрузок от примерзшего льда и улучшения эксплуатационных качеств сооружения рекомендуется для лицевых стенок применять покрытия гидрофобными консистентными смазками (например, по ГОСТ 6267-74, ГОСТ 11110-75 и др.).

9.38. В районах с возможными штормовыми ветрами причалы должны оснащаться штормовыми швартовными тумбами, а также приспособлениями для раскрепления порталных кранов и другого перегрузочного оборудования.

9.39. Толщина железобетонных элементов для лицевых стенок морских сооружений должна быть не менее 40 см, для речных сооружений - 20 см. Для железобетонных элементов, расположенных в грунте, толщина должна быть не менее 20 см. Толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры принимается 50 мм, для конструктивной - не менее 30 мм; для железобетонных элементов заводского изготовления толщина защитного слоя может быть снижена до 40 мм.

В зоне переменного уровня воды выпуски закладных металлических частей из бетона, как правило, не допускаются. В случае необходимости таких выпусков они должны быть защищены надежной гидроизоляцией.

9.40. Отбойные устройства должны отвечать дополнительным требованиям обеспечения сохранности от воздействия льда, низких температур.

9.41. Узлы крепления анкерных тяг к лицевой стенке рекомендуется выполнять шарнирными. Для уменьшения неравномерности усилий в анкерах и улучшения их работы при низких температурах рекомендуется применять специальные муфты и компенсаторы.

9.42. В случае устройства дренажа выпуски грунтовых вод должны быть расположены ниже мерзлого покрова при минимальном уровне воды у сооружения. При устройстве дренажа необходимо рассмотреть возможность использования в качестве обратного фильтра синтетических нетканых материалов.

9.43. Сооружения с использованием льда и мерзлого грунта следует защищать от теплового воздействия воды, воздуха, солнечной радиации и работающих механизмов.

Возможность возведения и эксплуатации сооружения из льда и мерзлого грунта должна обосновываться теплотехническим расчетом.

9.44. При возведении сооружения с мерзлым грунтом в теле засыпки и основании рекомендуется устройство теплоизолирующего слоя, расположение и толщина которого определяется теплотехническим расчетом. При этом устраивается организованный отвод ливневых вод с поверхности причала для предупреждения попадания их в засыпку.

9.45. Для перегрузочного и иного оборудования и механизмов, постоянно размещаемых на ледяных сооружениях, необходимо, как правило, устраивать независимое свайное основание путем погружения свай в грунт через ледяной массив сооружения.

9.46. При разработке проекта реконструкции существующего сооружения необходимо учитывать несущую способность мерзлого ледогрунтового ядра в сооружении, если его наличие было установлено и есть возможность сохранения этого ядра при строительстве и эксплуатации сооружения.

## **10. ВОДОХРАНИЛИЩА**

10.1. При составлении проекта водохранилищ в рассматриваемой зоне все вопросы переустройства объектов народного хозяйства, попадающих в зону влияния водохранилища и нижнего бьефа, а также вопросы комплексного использования водных, биологических и других ресурсов водохранилищ должны быть решены с учетом наличия многолетней мерзлоты и особенностей климатических условий района. К числу таких вопросов относятся: возмещение потерь сельскохозяйственного производства; переселение населения; переустройство автомобильных и железных дорог, газопроводов, нефтепроводов, линий электропередач и связи; инженерная защита объектов; лесосводка и лесоочистка; санитарная подготовка зоны водохранилища; транспортное, рыбохозяйственное освоение водохранилищ.

10.2. В условиях ограниченного количества земель в качестве компенсации изымаемых сельхозугодий должна быть рассмотрена возможность и экономическая целесообразность рекультивации карьеров, организации теплично-овощных хозяйств с использованием плодородного слоя почвы, снятого с затопляемых земель.

10.3. Переселение населения должно производиться, как правило, в существующие перспективные населенные пункты в дома постоянного типа, возводимые по типовым проектам, разработанным для районов распространения вечномерзлых грунтов. Перенос строений, попадающих в зону затопления, при наличии технической возможности производится только для жилых строений, являющихся личной собственностью граждан.

10.4. В рассматриваемых районах помимо восстановления постоянных категорий дорог должны быть предусмотрены мероприятия по воссозданию взамен нарушаемых сезонных ледовых дорог и переправ, находящихся в зоне подтопления или затопления в нижнем бьефе гидроузлов.

10.5. При проектировании водохранилищ должны приниматься меры для максимального использования древесины, находящейся в зоне затопления. В случае оставления леса без вырубki в зоне затопления должен быть составлен специальный прогноз влияния затапливаемой древесины и кустарника на качество воды в условиях замедленной деструкции органических веществ древесины.

10.6. При проектировании водохранилищ должны составляться прогнозы переработки берегов. Прогнозы должны составляться на срок 10 лет и на конечную стадию. Причем в полосе 10-летней переработки берегов должен намечаться вынос строений или необходимо обосновывать инженерную защиту территории. В условиях эксплуатации водохранилищ для уточнения прогнозов на характерных участках берегов водохранилищ следует производить систематические натурные наблюдения.

10.7. Составление прогнозов переработки берегов следует проводить на основе:

результатов изучения происхождения и развития ложа водохранилища и береговой зоны, районирования котловины водохранилищ, типизации береговой зоны, определения гидрологических зон, условий сопряжения уровня воды с основными формами рельефа и составления на этой основе прогнозной карты, где должны быть отражены прогнозируемые виды берегов и участки береговой зоны, охваченные многолетней мерзлотой, основные грунты ложа водохранилища, а также отмечены предполагаемые размываемые и заиляемые участки;

обоснованного выбора расчетных параметров, необходимых для разработки прогноза и получаемых на водохранилище-аналоге по данным натуральных наблюдений на самом эксплуатируемом водохранилище.

10.8. Выбор метода прогноза переработки и термопереработки берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами, определяется величиной ожидаемой осадки этих пород при оттаивании, а также в зависимости от вида использования земель береговой полосы. Мерзлое состояние пород следует учитывать для участков заповедников, заказников, пахотных земель, а также территорий городских и сельских населенных пунктов. Для участков лесов, лугов и пастбищ мерзлое состояние пород не учитывается. Если осадка пород при оттаивании равна нулю, то прогноз составляется обычными методами без учета мерзлого состояния пород.

10.9. Ожидаемую осадку вечномерзлых пород при оттаивании допускается определять по п.4.22 СНиП II-18-76\* "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" (более детально методика расчета переработки берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами, дана в приложении 7).

\* Действует СНиП 2.02.04-88, здесь и далее по тексту.

## **11. ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

11.1. При проектировании гидротехнических сооружений в рассматриваемых районах должны быть предусмотрены специальные мероприятия по охране окружающей среды с учетом особенностей района и площадки строительства сооружений и транспортных путей к этому району.

11.2. При проектировании временных сооружений должны быть предусмотрены:

а) защита территории от развития термокарста, наледей, оползней после оттаивания (особенно в связи с организацией водоотвода на стройплощадке);

б) защита от нарушения снежного и естественного растительного покрова и почвенного слоя, особенно на участках сильнольдистых грунтов;

в) строительство дорог, главным образом в насыпях, высота которых назначается по результатам температурных расчетов;

г) мероприятия по предупреждению развития термокарста или его ограничению, в частности, путем создания искусственных озер или организации водоотвода в проектах рекультивации карьеров и других территорий.

11.3. В проекте должны быть составлены прогнозы изменения природной среды в связи с созданием гидротехнического комплекса.

Прогнозы, в частности, должны рассматривать взаимодействие водохранилищ с береговой зоной; изменения видового состава ихтиофауны и рыбопродуктивности; изменение гидрогеологических условий в зоне влияния водохранилища; изменение видового состава растительного и животного мира прилегающих



территорий; изменение климата; изменение качества воды; термопросадку грунта ложа водохранилища после оттаивания и связанное с этим изменение рельефа при нескальных грунтах в основании.

11.4. При проектировании необходимо предусматривать мероприятия для сохранения поголовья оленей и путей их миграции или соответствующее возмещение потерь. При расчете возмещения потерь продукции оленеводства, вызванных затоплением оленьих пастбищ и другими обстоятельствами, должна учитываться стоимость мероприятий по восстановлению производства мяса за счет увеличения поголовья крупного рогатого скота в других районах затрагиваемого региона. Для этого должно быть намечено освоение новых земель под пашню или сенокосы для производства кормов для расчетной численности крупного рогатого скота и строительство соответствующих животноводческих и других строений и сооружений.

11.5. При проектировании гидроузлов необходимо рассматривать возможность рыбохозяйственного освоения водохранилищ. При этом следует предусматривать тщательную подготовку ложа водохранилища, особенно в местах будущих нерестилищ в связи с тем, что в условиях многолетнемерзлых грунтов резко увеличивается продолжительность выделения в воду смолы, тианидов и других веществ, оказывающих отрицательное влияние на ихтиофауну.

11.6. Сброс в водохранилища сточных вод населенных пунктов, промышленных предприятий, сельскохозяйственных объектов и т.п. должен производиться в соответствии с "Правилами охраны поверхностных вод от загрязнений", утвержденными Минводхозом, Минздравом и Минрыбхозом СССР.

Основными мероприятиями, направленными на обеспечение надлежащего качества воды, являются:

развитие существующих и строительство новых очистных сооружений;

агролесомелиоративные и другие мероприятия по борьбе с эрозией почв;

благоустройство населенных пунктов, животноводческих ферм, нефтебаз и других подобных объектов;

проектирование бетонных заводов, промывочно-сортировочных предприятий, автогаражей и механических мастерских и т.д., как правило, с замкнутым циклом водооборота или с устройствами, исключающими сброс производственных стоков.

В особых случаях, обусловленных прогнозами формирования качества воды, могут быть рекомендованы:

создание защитных лесонасаждений на отдельных участках береговой полосы водохранилища, где возможны поступления загрязненного поверхностного стока;

периодические попуски в нижний бьеф для разбавления загрязнений, особенно в период остановки ГЭС.

## 12. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

12.1. При проектировании карьеров для возведения насыпей и грунтовых плотин, для уменьшения вскрышных работ следует предусматривать меры по уменьшению промерзания карьеров, в том числе устройство поверхностного водоотвода до начала сезона дождей, засоление поверхности разрабатываемого участка хлористым натрием или кальцием, отогрев мерзлой корки и др.

12.2. При разработке проекта производства работ по возведению насыпей зимой следует предусматривать мероприятия по созданию летом запасов грунтов в буртах большой емкости, что обеспечит:

а) получение грунта, строительные свойства которого удовлетворяют требованиям проекта;

б) создание условий для максимальной аккумуляции тепла грунтом до укладки его в бурты;

в) сохранение положительной температуры грунта при его хранении в буртах.

Для сохранения положительной температуры грунта следует проектировать бурты максимально возможной высоты и защищать их с поверхности от промерзания путем покрытия пенольдом, быстротвердеющими полимерными пенами или организацией снегозадержания на поверхности бурта, а также проводить засоление поверхностного слоя грунта в бурте на глубину до 3 м. В качестве основного способа засоления рекомендуется перемешивание порошкообразной соли с грунтом в карьере и отсыпку засоленного грунта без уплотнения на поверхности бурта. Для оттаивания периферийной части грунта забоя рекомендуется применение электропрогрева.

12.3. Для грунтовых сооружений высотой более 35 м следует предусматривать проведение опытных работ по отработке технологии уплотнения грунта в противодиффузионных устройствах, уточнению его оптимальной влажности и плотности, а также минимально допустимого процента мелкозема в грунте.

12.4. Метод отсыпки глинистого грунта (насухо или в воду, толщина отсыпаемых слоев, степень их уплотнения и меры по сохранению грунта в талом или пластичномерзлом состоянии на карте укладки до достижения проектной плотности) должен устанавливаться проектом и проверяться в производственных условиях (на опытной насыпи) как в летних, так и в зимних условиях.

При проектировании плотины из грунтовых материалов рекомендуется:

а) послойная укладка глинистого грунта насухо при влажности, близкой к оптимальной, при отрицательной температуре воздуха до минус 40 °С или температуре воздуха минус 30 °С и скорости ветра до 5 м/с;

б) отсыпка талого грунта в воду для грунтов типа морены при отрицательных температурах воздуха до минус 30 °С.

12.5. При проектировании плотин мерзлого типа замораживание грунтов тела плотины и подрусового талика следует предусматривать с помощью сезоннодействующих охлаждающих систем и устройств (СОУ) воздушного, парожидкостного или жидкостного типа.

Для плотин высотой до 15 м замораживание грунтов может быть достигнуто за счет послойной укладки грунта только в зимнее время и промораживанием каждого слоя.

12.6. При обосновании конструкции намывной плотины следует учитывать сравнительно короткий сезон производства работ способом гидромеханизации, продолжительность которого определяется из условия перехода среднесуточной температуры воздуха через минус 5 °С. Разрешается при соответствующем технико-экономическом обосновании предусматривать продление сезона намыва плотин с проведением мероприятий для обеспечения качества намываемого грунта.

12.7. При проектировании буровзрывных работ для разработки котлованов, особенно глубоких, необходимо учитывать влияние мерзлоты на поведение пород при взрывах, на скорость прохождения упругих волн, их спектр, на прочность межблочных контактов и самой породы и другие характеристики. При проектировании глубоких выемок в скальных породах следует, как правило, предусматривать проведение опытных работ непосредственно в котловане.

12.8. При разработке проекта технологии буровзрывных работ для создания подземных выработок гидротехнических сооружений должны быть учтены специфические свойства мерзлых горных пород, а также заполнителя крупных тектонических трещин, в том числе линзового льда, для чего должно быть предусмотрено проведение опытных взрывов.

На основании результатов опытных взрывов назначаются величина зарядов, число и интервалы ступеней замедления и последовательность проведения работ, а также допустимые скорости смещения в характерных точках контура выработки или конструкций ее крепления.

Специального обоснования требует также производство открытых земельно-скальных работ с помощью взрывов в непосредственной близости к подземным выработкам.

12.9. При проектировании технологии строительства бетонных обделок подземных гидротехнических сооружений или устройства покрытия из набрызг-бетона следует предусматривать отопление мерзлого скального массива и обосновывать температуру укладываемой бетонной смеси на основании выполнения теплотехнических расчетов так, чтобы обеспечить нормальные условия твердения бетона и набора прочности. Следует учитывать применение специальных добавок для понижения температуры твердения бетона.

12.10. Для бетона плотин I и II классов следует предусматривать применение, как правило, низкотермичных цементов. Оптимальным видом цемента для наружных морозостойких зон является чистоклинкерный сульфатостойкий портландцемент, а для других частей сооружений (подводный бетон, внутренняя зона и др.) - шлакопортландцемент или пуццолановый портландцемент.

В зимнее время для бетона внутренней зоны допускается применение портландцемента.

При отсутствии возможности круглогодичной поставки вяжущего и необходимости создания годового его запаса на строительстве в короткий летний период следует предусмотреть применение гидрофобных цементов.

При проектировании состава бетона следует ограничиваться одним-двумя видами цемента, с закреплением за каждым объектом одного завода-поставщика.

В каждом случае обязательно составление технических условий на цемент с учетом производственных условий строительства.

12.11. При проектировании бетонного хозяйства для плотин I и II классов следует предусматривать получение до пяти фракций крупного заполнителя и в случае необходимости (при значительной неоднородности) двух фракций песка.

При значительных объемах бетона, укладываемого в сооружения, следует предусматривать вторичное просеивание заполнителей перед бункерами бетонного завода, особенно при неоднократных перегрузках заполнителей.

12.12. Организация технологической схемы бетонного производства должна обеспечивать возможность создания в летний период достаточных запасов заполнителей на зимний период работ или их получения в течение всего года.

12.13. В проектах для обеспечения особо высокой морозостойкости бетона следует предусматривать применение добавок ПАВ, а также комплексных добавок.

12.14. Для обеспечения экономии цемента и упрощения комплекса мероприятий по регулированию температуры бетона в теле сооружения в проектах следует как можно шире предусматривать применение жестких и малоцементных бетонных смесей и соответствующую технологию их укладки.

12.15. В проекте производства бетонных работ следует предусматривать меры для предупреждения смерзания бетонной смеси при транспортировке ее от бетонного завода до блоков бетонирования. Следует предусматривать меры для утепления транспортных средств, кузовов автомашин, транспортных галерей и т.п.

12.16. При составлении проекта цементации строительных швов в замороженном бетонном массиве допускается применять цементные растворы с противоморозными добавками после отогрева бетона в околошовной зоне до температуры выше 0 °С.

Отогрев бетона в околошовной зоне, как правило, следует осуществлять:

пропуском теплоносителя по шву;

с помощью устанавливаемых вблизи шва систем электрообогрева.

При отогреве бетона пропуском теплоносителя по шву через закладную цементационную арматуру следует прокачивать раствор, например, хлористого кальция с температурой 80-90 °С.

Для электрообогрева бетона околошовной зоны рекомендуется использовать спирали из стальной проволоки диаметром 5 мм, установленной в плоскости шва с шагом 150-200 мм.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1  
Справочное

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

1. Свойства мерзлых пород (физико-механические, фильтрационные, теплофизические) в отличие от немерзлых связаны с содержанием льда, типом и особенностями криогенных текстур, фазовыми переходами воды и физико-химическими процессами, протекающими при отрицательных температурах. Возникновение в мерзлых породах льдоцементных связей приводит к изменению теплофизических свойств, к повышению их прочности, снижению деформируемости и уплотняемости, способствует интенсивному развитию реологических процессов (ползучести, релаксации, снижению прочности при длительном действии нагрузки), резкому уменьшению водопроницаемости. При повышении температур мерзлых пород или их протаивании под влиянием строительства и эксплуатации сооружений льдоцементные связи утрачиваются частично или полностью, что вызывает изменение свойств пород. Эти процессы определяют инженерно-геологическую оценку пород как оснований гидротехнических сооружений.

2. Дополнительными к обычным характеристикам свойств грунтов, используемыми для их оценки при проектировании плотин, являются:

суммарные влажность и льдистость;

содержание незамерзшей воды в зависимости от температуры;

показатели деформируемости мерзлого и талого грунта;

показатели прочности мерзлого, оттаивающего и талого грунта;

показатели водопроницаемости после оттаивания;

теплофизические характеристики: температура начала замерзания грунта, коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость мерзлого и талого грунта.

3. Суммарной влажностью  $W_c$  называется отношение всех видов воды, содержащейся в грунте, к весу скелета грунта. Она определяется по формуле

$$W_c = W_B + W_\Gamma = W_\Pi + W_B + W_H, \quad (1)$$

где  $W_B$  - влажность за счет линз и прослоек льда;

$W_\Gamma$  - влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными включениями;

$W_\Pi$  - влажность за счет льда, находящегося в порах грунта и цементирующего его минеральные частицы;

$W_H$  - влажность за счет незамерзшей воды, содержащейся в мерзлом грунте при данной температуре.

Все показатели влажности выражаются в долях единицы;  $W_c$ ,  $W_\Gamma$  и  $W_H$  получают экспериментальным путем, а  $W_\Pi$  и  $W_B$  - из формулы (1).

Для несвязных грунтов и легких супесей  $W_H=0$ . Для связных грунтов  $W_H$  допускается рассчитывать по формуле

$$W_H = K_H W_p, \quad (2)$$

где  $K_H$  - эмпирический коэффициент, значения которого приведены в табл.1;

$W_p$  - влажность грунта на границе раскатывания в долях единицы.

Таблица 1

Значения коэффициента  $K_H$

Наименование грунта	Число пластичности $J_p, \%$	Значение $K_H$ при температуре грунта, °C					
		-0,3	-0,5	-1	-2	-4	-10
Супеси	$0,2 < J_p \leq 0,07$	0,60	0,50	0,40	0,35	0,30	0,25
Суглинки	$0,07 < J_p \leq 0,13$	0,70	0,65	0,60	0,50	0,45	0,40
Суглинки	$0,13 < J_p \leq 0,17$	*	0,75	0,65	0,55	0,50	0,45
Глины	$J_p > 0,17$	*	0,95	0,90	0,65	0,60	0,55

\* Вся вода в порах незамерзшая, т.е.  $W_\Gamma = W_H$ .

Опытное определение  $W_C$  и  $W_H$  производится так же, как и для талых грунтов, или приближенно пикнометрическим способом. Величина  $W_H$  определяется калориметрическим способом.

4. Суммарной льдистостью  $L_C$  называется отношение объема льда, содержащегося в мерзлом грунте, к объему этого грунта. Она определяется формулой

$$L_C = L_{II} + L_B = \frac{\gamma_{\Gamma}(W_C - W_H)}{\gamma_{II}(1 + W_C)}, \quad (3)$$

где  $L_{II}$  - льдистость за счет порового льда, в долях единицы;

$L_B$  - льдистость за счет ледяных включений в долях единицы, определяемая по формуле

$$L_B = \frac{\gamma W_B}{\gamma_{II} + \gamma_{\Gamma}(W_C - 0,1W_H)}, \quad (4)$$

$\gamma_{\Gamma}$  - плотность минеральных частиц грунта, Н/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{II}$  - плотность льда, принимаемая равной 9 кН/м<sup>3</sup>.

При  $L_B \geq 0,4$  грунты относятся к сильнольдистым. Значение  $L_B$  допускается определять по результатам непосредственных измерений ледяных включений в разведочных выработках. Значение  $L_{II}$  приближенно можно рассчитывать по формуле (3),  $W_H$  определяется калориметрическим способом.

Суммарную льдистость можно также определить по формуле

$$L_C = W_C - K_H W_P. \quad (5)$$

Льдистость и влажность за счет незамерзшей воды определяют осадку грунта под действием ее собственной массы. Прочность и деформируемость грунта зависят от льдистости и суммарной влажности и температуры.

Влажность за счет незамерзшей воды характеризует состояние мерзлого грунта (твердомерзлое или пластичномерзлое).

5. Степень заполнения объема пор мерзлого грунта льдом и незамерзшей водой  $G$  определяется по формуле

$$G = \frac{(1,1W_{II} + W_H)\gamma_{II}}{\varepsilon_m \gamma_w}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon_m$  - коэффициент пористости грунта, расположенного между ледяными включениями;  $\gamma_w$  - плотность воды.

Величина  $G$  служит для ориентировочной оценки свойств мерзлого и оттаявшего грунта. При  $G > 0,90$  грунт считается распученным, т.е. минеральные агрегаты "раздвинуты" льдом, при оттаивании грунт дает "тепловую" осадку. При  $G < 0,10-0,20$  песчаные грунты могут находиться в сыпучемерзлом состоянии.

6. Изменение коэффициента пористости мерзлых грунтов при оттаивании их с одновременным уплотнением состоит из двух частей:  $\Delta\varepsilon = A + \alpha$ , где  $A$  - коэффициент оттаивания, не зависящий от внешнего давления, характеризующий сжимаемость мерзлого грунта под действием их собственной массы;  $\alpha$  - коэффициент уплотнения, характеризующий сжимаемость оттаявшего грунта под нагрузкой. Значения коэффициентов  $A$  и  $\alpha$  некоторых видов грунтов массивной криогенной текстуры помещены в табл.2.

Коэффициенты оттаивания  $A$  и уплотнения  $\alpha$  оттаивающих грунтов

Наименование грунтов	$A$	$\alpha$ при нагрузке в интервале 0-0,1 МПа, .....*
Глины и суглинки тяжелые пылеватые	0,05-0,08	0,7-1,2
Суглинки легкие пылеватые	0,03-0,06	0,5-0,9
Суглинки с включением гравия	0,01-0,03	0,3-0,5
Супеси легкие пылеватые	0,02-0,04	0,4-0,7
Пески пылеватые	0,01-0,02	0,2-0,3
Гравийно-галечниковые	0,005-0,05	-

\* Брак оригинала.

Величина относительного сжатия  $\delta$  мерзлого грунта при его оттаивании представляет отношение изменения толщины слоя грунта при оттаивании к его первоначальной толщине и определяется по формуле

$$\delta = \frac{h_{\text{м}} - h_{\text{т}}}{h_{\text{м}}}, \quad (7)$$

где  $h_{\text{м}}$  - толщина слоя грунта до оттаивания, см;

$h_{\text{т}}$  - толщина слоя того же грунта после оттаивания, см, в условиях невозможности бокового расширения при давлении до 0,01 МПа определяется при компрессионных испытаниях образцов грунта ненарушенного сложения с естественной влажностью и льдистостью, либо в результате полевых опытных работ по методу "горячего штампа".

При  $\delta \leq 0,05$  - грунт малосжимаемый при оттаивании;  $0,05 \leq \delta \leq 0,20$  - грунт среднесжимаемый при оттаивании;  $\delta > 0,20$  - грунт сильносжимаемый при оттаивании.

7. Сжимаемость оттаявшей толщи грунта в основании сооружения определяется по зависимости

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \delta_i h_i,$$

где  $\delta_i$  - величина относительного сжатия  $i$ -го слоя грунта;  $h_i$  - мощность этого слоя.

Если величина  $\delta$  определена для образцов грунта слоистой криогенной текстуры, отобранных между прослоями (прожилками) льда, для расчета величины сжимаемости применяется формула

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \delta_i h_i + \Delta \sum_{i=1}^x k_{\text{Б}} m_i, \quad (8)$$

где  $n$  - число слоев, на которые разбивается оттаивающая толща;  $x$  - число ледяных прослоев;  $m_i$  - мощность  $i$ -й прослойки льда;  $k_{\text{Б}}$  - коэффициент, учитывающий неполное смыкание макропор и полостей в грунте при вытаивании ледяных прослоек; значения его в зависимости от мощности ледяных прослоек приведены ниже.

#### Значения коэффициента $k_{\text{Б}}$

Мощность ледяных прослоек, см

$k_{\text{Б}}$

Менее 1,0	0,4
1,0-3,0	0,6
Более 3,0	0,8

В зависимости от величины сжимаемости оттаивающей толщи  $\Delta$  и скорости осадок оттаивающего основания  $V_s$  находятся типы и конструктивные особенности возводимых на них гидротехнических сооружений. По этим характеристикам оттаивающие толщи грунтов подразделяются на 3 категории:

I категория - при  $\Delta < 15$  см и  $V_s < 4$  см;

II категория - при  $15 \leq \Delta \leq 50$  см и  $4 \leq V_s \leq 15$  см;

III категория - при  $\Delta > 50$  см и  $V_s > 15$  см.

При I категории оттаивающей толщи возможно возведение бетонных сооружений и высоконапорных земляных сооружений; при II категории - земляных сооружений высотой до 70 м; при III категории - земляных сооружений высотой до 30 м.

Средние пределы значений относительного сжатия грунтов различной криогенной текстуры при оттаивании под нагрузкой 0,1 МПа приведены в табл.3. Относительное сжатие грунтов при оттаивании под нагрузкой определяется одометрическим способом или по методу "горячего штампа".

Таблица 3

**Средние пределы относительного сжатия оттаявших грунтов**

Наименование грунтов	Криогенная текстура		
	массивная	слоистая	сетчатая
Крупнообломочные	0,003-0,03	-	-
Пески	0,005-0,4	-	-
Супеси	0,01-0,05	0,03-0,10	-
Суглинки		0,04-0,15	0,06-0,20
Глины	-	0,08-0,20	0,08-0,25

Ориентировочная величина относительного сжатия мерзлых грунтов тонкослоистой и сетчатой текстур после их оттаивания может быть определена по следующим формулам:

для песчаных грунтов

$$\delta = \frac{\gamma_{ск.г} - \gamma_{ск.м}}{\gamma_{ск.г}}; \quad (9)$$

для глинистых грунтов при  $G \leq 0,85$

$$\delta_i = 1 - \gamma_{ск.м} \left( \frac{1}{\gamma_{г}} + W_p + k_{дп} J_p \right); \quad (10)$$

для глинистых грунтов  $G > 0,85$

$$\delta_i = \frac{1,1W_B - (1 - K_H)W_P + \frac{k_D J_P}{100}}{\frac{1}{\gamma_T} + 1,1W_B + \frac{J_P}{100}}, \quad (11)$$

где  $K_H$  - коэффициент, значения которого приведены выше;

$k_D$  - коэффициент, значения которого даны в табл.4;

Таблица 4

**Значения коэффициента  $k_D$**

Наименование грунта	Уплотняющее давление $p_1$ , МПа				
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Супесь с числом пластичности:					
$J_p \leq 0,03$	1,60	1,30	1,10	0,90	0,80
$0,03 < J_p \leq 0,05$	1,30	1,10	0,95	0,80	0,80
$0,05 < J_p \leq 0,07$	1,20	1,00	0,85	0,75	0,65
Суглинок с числом пластичности:					
$0,07 < J_p \leq 0,09$	1,10	0,90	0,80	0,65	0,55
$0,09 < J_p \leq 0,13$	1,00	0,80	0,70	0,60	0,50
$0,13 < J_p \leq 0,17$	0,90	0,70	0,60	0,50	0,40
Глина с числом пластичности:					
$0,17 < J_p \leq 0,21$	0,80	0,65	0,50	0,45	0,35
$0,21 < J_p \leq 0,26$	0,75	0,55	0,45	0,35	0,30
$0,26 < J_p \leq 0,32$	0,65	0,50	0,35	0,30	0,25
$J_p > 0,32$	0,55	0,40	0,30	0,25	0,20

$W_P$  - влажность на границе раскатывания, доли единицы;

$J_P$  - число пластичности, %;

$\gamma_{ск.г}$  - объемная масса скелета оттаявшего грунта, после уплотнения его под нагрузкой, равной нагрузке, передаваемой сооружением, определяется экспериментально, а для ориентировочных подсчетов принимается равной объемной массе скелета грунта при максимальной плотности, Н/м<sup>3</sup>;



$\gamma_{ск.м}$  - объемная масса скелета мерзлого грунта, Н/м<sup>3</sup>;

$\gamma_{г}$  - плотность грунта, Н/м<sup>3</sup>.

Для давления  $P_i < 0,1$  МПа величина  $\delta$  определяется выражением

$$\delta = \delta_i \frac{P_i}{P_1}, \quad (12)$$

где  $P_1 = 0,1$  МПа;  $\delta_i$  - величина относительного сжатия при нагрузке 0,1 МПа.

8. Характер деформируемости сильнольдистых грунтов (особенно их деформации, развивающиеся во времени - деформации ползучести) следует определять экспериментальным путем в лаборатории на образцах или в полевых условиях. По характеру деформируемости следует различать: а) грунты, которым при определенных нагрузках свойственна затухающая ползучесть, б) грунты с незатухающей ползучестью, разделяемые по виду ползучести на грунты с ползучестью пластично-вязкого течения и прогрессирующего течения.

9. Пластично-мерзлые грунты обладают заметной сжимаемостью. Они способны уплотняться под нагрузкой и развивать заметные осадки в основаниях сооружений без перехода в талое состояние. Средняя величина относительной осадки пластично-мерзлых грунтов  $\delta$  в зависимости от уплотняющего давления  $P$  принимается по табл.5.

Таблица 5

**Средние величины относительной осадки пластично-мерзлых грунтов  $\delta \cdot 10^3$**

Наименование грунта	Давление $P$ , МПа										
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,80
Песок	1,0	2,0	3,2	4,5	5,5	6,4	7,4	8,2	9,0	9,5	10,5
Супесь	1,5	3,0	4,5	6,0	7,0	8,0	9,4	10,2	11,4	12,0	15,5
Суглинок	3,6	6,2	9,0	11,0	13,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0
Торф	10,0	15,0	22,0	25,0	28,0	30,0	34,0	38,0	40,0	50,0	-

10. К механическим характеристикам относят также морозную пучинистость грунта, которая оценивается отношением величины разуплотнения (поднятия) слоя грунта  $\Delta h$  в результате пучения к толщине слоя промерзающего грунта  $h$ :

$$S_{пуч} = \frac{\Delta h}{h}. \quad (13)$$

К пучинистым грунтам, согласно приложению 6 СНиП II-15-74, относятся пески мелкие и пылеватые, а также глинистые грунты и крупнообломочные с глинистым заполнителем при условии расположения уровня грунтовых вод  $Z$  ниже глубины промерзания этих грунтов в соответствии с табл.6. Пески крупные и средней крупности, крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем и скальные породы независимо от уровня грунтовых вод относятся к непучинистым грунтам.

Степень морозной пучинистости грунтов определяется в зависимости от положения уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания грунта, а для глинистых грунтов - и от их консистенции  $I$  по табл.6.

Таблица 6

### Значения степени морозной пучинистости

Наименование грунта по степени морозной пучинистости	Пределы положения $z$ уровня грунтовых вод ниже расчетной глубины промерзания грунта, м					Консистенция глинистого грунта $I$
	Песок мелкий	Песок пылеватый	Супесь	Суглинок	Глина	
Сильнопучинистый	-	-	$z \leq 0,5$	$z \leq 1$	$z \leq 1,5$	$I > 0,5$
Среднепучинистый	-	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2$	$0,25 < I \leq 0,5$
Слабопучинистый	$z \leq 0,5$	$0,5 < z \leq 1$	$1 < z \leq 1,5$	$1,5 < z \leq 2,5$	$2 < z \leq 3$	$0 < I \leq 0,25$
Практически непучинистый	$z > 0,5$	$z > 1$	$z > 1,5$	$z > 2,5$	$z > 3$	$I \leq 0$

В случае несовпадения результатов определения морозной пучинистости глинистых грунтов по  $z$  и  $I$  принимается наибольший из полученных. Крупнообломочные грунты с глинистым заполнителем, содержащие в своем составе более 30% по массе частиц размером 0,1 мм, относятся к среднепучинистым при  $z > 1$  м или сильнопучинистым при  $z < 1$  м.

11. Для мерзлых нескальных грунтов наиболее важными прочностными характеристиками являются сопротивление сжатию-растяжению, сдвигу и прочность смерзания грунтов. Для подбора эффективных методов разработки мерзлых грунтов механизмами необходима также оценка сопротивления мерзлых грунтов разрушению резанием.

12. Прочность многолетнемерзлых грунтов зависит от их состава и температуры, возрастая с понижением последней. Особенно резко сказывается влияние температуры на сцепление грунтов. Угол внутреннего трения для высокотемпературных грунтов при  $T^{\circ} > -2^{\circ} \text{C}$  во многих случаях может приниматься равным значению этого показателя для немерзлых грунтов.

При оттаивании глинистые грунты снижают свою прочность, а при высокой льдистости ( $L_c > 0,6$ ) вообще могут потерять несущую способность.

Сопротивление сдвигу по границе раздела между оттаивающим и мерзлым грунтом, при неровной поверхности оттаивания, как правило, выше, чем у талого грунта; при ровной и гладкой поверхности оттаивания оно либо не меняется (если мерзлый грунт имеет массивную текстуру), либо уменьшается (при наличии ледяных включений).

Прочность мерзлых грунтов существенно зависит от длительности приложения нагрузки, поэтому различают мгновенную и длительную прочность. Показатели мгновенной прочности используют при кратковременных и динамических нагрузках. Длительная прочность, характеризующая прочность грунтов при длительном приложении нагрузки, как правило, в 3-5 и более раз меньше мгновенной. В табл.7 приводятся данные по испытанию на разрыв супеси при различной длительности приложения нагрузок при температуре минус 4,5 °С.

Таблица 7

#### Данные испытаний мерзлой супеси на разрыв при длительно действующих нагрузках

Нагрузка, МПа	2,0	1,0	0,6	0,5	0,4	0,25	0,2	0,18
Время, через которое произошло разрушение	9 с	3 мин	27 мин	4 ч	24 ч	140 ч	766 ч	Разрыва не было 7 лет

В табл.8 приведено примерное соотношение между параметрами трения и сцепления, полученными в опытах при быстром ( $\varphi$  и  $c$ ) и медленном ( $\varphi_{\text{дл}}$ ,  $c_{\text{дл}}$ ) нагружении образцов при температурах до минус 5 °С.

Таблица 8

### Изменение параметров прочности мерзлых грунтов при длительном действии сдвигающей нагрузки

Наименование грунтов	$\phi/\phi_{дл}$	$c/c_{дл}$
Крупнообломочные и пески крупные	0,6-1,0	2-3
Супеси	1-2	3-4
Суглинки	2-3	4-5
Глины	3-4	5-6

С понижением температуры прочность мерзлых грунтов (мгновенная и длительная) увеличивается,

Влажность существенно влияет на прочность мерзлых грунтов: при влажности меньшей полной водонасыщенности прочность увеличивается с увеличением влажности, а при достижении полной водонасыщенности и при перенасыщенности влагой, как правило, падает. В табл.9 приводятся данные по прочности мерзлых грунтов ненарушенной структуры на одноосное сжатие.

Таблица 9

#### Мгновенное $\sigma_0$ и длительное $\sigma_{\infty}$ сопротивление одноосному сжатию мерзлых грунтов ненарушенной структуры

Наименование грунта	Весовая влажность, %	Температура, °С	$\sigma_0$ , МПа	$\sigma_{\infty}$ , МПа
Супесь легкая	20-24	-4	0,32-0,36	0,05
Супесь тяжелая	32-35	-4	0,16-0,18	0,02-0,03

Сопротивление растяжению мерзлых грунтов значительно (в 2-6 раз) меньше их сопротивления сжатию. При этом длительное сопротивление растяжению мерзлых глинистых грунтов больше длительного сопротивления растяжению песчаных грунтов.

13. Расчетное давление на мерзлые грунты  $R$  под подошвой столбчатого фундамента принимается в соответствии с требованиями СНиП II-18-76 (приложение 6, табл.2). Некоторые расчетные значения сопротивления сдвигу мерзлых торфов  $R_{сд}$  приведены ниже.

Температура грунта, °С	$R_{сд}$ , МПа
-3,0	0,07
-3,5	0,08
-4,0	0,08

14. При расчетах заделки фундаментов в вечномерзлые грунты при морозном пучении грунтов деятельного слоя следует использовать данные о прочности смерзания грунтов, которая определяется обычно путем продавливания или выдергивания стоек, вмороженных в грунт.

Расчетные сопротивления мерзлых грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхностям смерзания  $R_{см}$  принимаются в соответствии со СНиП II-18-76 (приложение 6, табл.3).

15. Засоленными вечно мерзлыми грунтами называются мерзлые грунты, содержание воднорастворимых солей в которых превышает значения, приведенные в СНиП II-15-74 (п.2.17, табл.11).

Засоленность вечно мерзлых грунтов характеризуется отношением массы воднорастворимых солей  $g_z$ , содержащихся в грунте, к массе минеральных частиц  $g_{сж}$  и солей. Засоленность определяется по формуле

$$Z = \frac{g_z}{g_{ск} + g_z} 100\% . \quad (14)$$

Дополнительными характеристиками засоленных вечно мерзлых грунтов являются:

концентрация порового раствора;

температура начала замерзания грунта;

состав воднорастворимых солей в грунте.

Концентрацией порового раствора  $k_{пр}$  называется отношение массы солей  $g_z$ , содержащихся в грунте, к массе грунтового раствора ( $g_w + g_z$ ). Концентрация порового раствора определяется по формуле:

$$k_{пр} = \frac{g_z}{g_w + g_z} , \quad (15)$$

где  $g_w$  - масса всей воды, находящейся в мерзлом грунте, а при  $J_B > 0,4$  - масса воды, находящейся только в грунте, который располагается между ледяными прослойками.

Если известна засоленность грунта  $Z$ , то концентрация порового раствора рассчитывается по формуле:

$$k_{пр} = \frac{z}{z + 100W} , \quad (16)$$

где  $W$  - влажность засоленного грунта, доли единицы;

$$\text{для грунтов с } J_B \leq 0,4 \quad W = W_c ;$$

$$\text{для грунтов с } J_B > 0,4 \quad W = W_T .$$

Состав воднорастворимых солей, характеризующий тип засоленности грунта (табл.10), определяется методом водной вытяжки.

Таблица 10

#### Классификация грунтов по типу засоления

Тип засоления	$Cl' / SO_4'$	$\frac{HCO_3' + CO_3''}{Cl' + SO_4''}$
Хлоридный	Больше 2,0	-
Сульфатно-хлоридный	2,0-1,0	-
Хлоридно-сульфатный	1,0-0,3	-
Сульфатный	Меньше 0,3	-
Содовый	-	Больше 0,3

При определении объемной массы скелета и суммарной влажности засоленных вечномерзлых грунтов к массе минеральных частиц добавляется масса содержащихся в грунте воднорастворимых солей.

Для глинистых грунтов, содержащих легкорастворимые соли (хлориды, сульфаты, бикарбонаты), влажность за счет незамерзшей воды  $W_H$  допускается вычислять по формулам:

при засоленности  $z \leq 0,8\%$

$$W_H = K_H^3 \cdot W_p; \quad (17)$$

при засоленности  $0,5 < z \leq 1,5\%$

$$W_H = K_H^3 \cdot W_p + \frac{z}{100k_p}; \quad (18)$$

при засоленности  $z > 1,5\%$

$$W_H = W_{\text{МГ}} + \frac{z}{100k_p}, \quad (19)$$

где  $K_H^3$  - безразмерный коэффициент, принимаемый по табл.11;

$W_{\text{МГ}}$  - максимальная гигроскопическая влажность, доли единицы;

$k_p$  - равновесная по отношению ко льду концентрация порового раствора, определяемая экспериментально как отношение массы воднорастворимых солей к массе порового раствора;

$k_p$  - для растворов хлористого натрия и кальция допускается определять по СНиП II-18-76, п.2.12, табл.2.

Таблица 11

#### Значения коэффициента $K_H^3$

Наименование грунта	Число пластичности, %	$K_H^3$ , при температуре грунта, °С			
		-1	-2	-4	-10
Супесь	$0,01 < J_p \leq 0,07$	0,50	0,45	0,42	0,40
Суглинок	$0,07 < J_p \leq 0,13$	0,65	0,53	0,47	0,45
"	$0,13 < J_p \leq 0,17$	0,70	0,60	0,53	0,50
Глина	$J_p > 0,17$	0,90	0,65	0,60	0,55

Примечание. При температуре минус 0,3 °С и выше и при засоленности грунта больше значений, указанных в табл.11 СНиП II-15-74, вся влага в грунте находится в незамерзшем состоянии.

16. Для выполнения прогнозных теплотехнических расчетов необходимо изучить температурный режим пород в естественной природной обстановке. При этом оценивается:

среднегодовая температура пород у подошвы слоя годовых колебаний температур;

распределение температур пород в слое годовых колебаний температур;

распределение температур в мерзлой толще ниже слоя годовых колебаний температур;

распределение температур в немерзлых породах ниже подошвы мерзлой толщи в тех случаях, если мощность последних меньше мощности зоны влияния сооружений гидроузла.

Для изучения температур пород необходимо организовать единовременные, многократные и режимные измерения температур по скважинам. Количество скважин должно назначаться в зависимости от сложности мерзлотно-геологических условий, стадии проектирования и ответственности проектируемого сооружения.

На основании полученных данных следует установить закономерности формирования и динамики температурного режима многолетнемерзлых пород в зависимости от снежного покрова, растительности, экспозиции и крутизны склонов, состава и влажности пород. Необходимо также установить характерные типы температурных разрезов для мерзлых толщ различной мощности и строения, для различных геолого-тектонических и гидрогеологических структур и их частей, для различных геоморфологических поверхностей, в том числе в пределах разновозрастных элементов долин рек.

Повышенное содержание солей в поровом растворе обуславливает понижение температуры замерзания грунта. Как следствие этого, засоленные грунты содержат значительно большее количество незамерзшей воды по сравнению с аналогичными незасоленными грунтами. Кроме того, соли определяют ряд физико-химических особенностей засоленных грунтов, что сказывается на их поведении под нагрузкой. При одной и той же температуре, составе и физических свойствах засоленные глинистые грунты могут оказаться в 1,5-5 раз более сжимаемыми и менее прочными, чем незасоленные. Поэтому засоленные грунты требуют тщательного изучения.

17. Для выполнения теплотехнических расчетов при проектировании гидротехнических сооружений необходимо определить основные теплофизические характеристики мерзлых и талых грунтов: коэффициенты теплопроводности  $\lambda$ , объемную теплоемкость  $C_{об}$ , а для засоленных грунтов, кроме того, температуру замерзания грунта  $t_з$ .

Основные расчетные значения теплофизических характеристик дисперсных мерзлых и талых грунтов:  $\lambda_T$ ,  $\lambda_M$ ,  $C_T$  и  $C_M$  - приведены в СНиП II-18-76, приложение 1.

Коэффициент теплопроводности льдистого грунта с крупными включениями льда определяется расчетом по данным раздельных определений теплопроводности слагающих его минеральных и ледяных прослоек. В зависимости от характера криогенной текстуры расчет производится по следующим формулам:

для льдистого грунта слоистой текстуры в направлении, нормальном слоистости:

$$\lambda_{M\perp} = \frac{\lambda_{II} \lambda_{Г}}{L_B \lambda_{Г} + (1 - L_B) \lambda_{Г}}, * \text{ Вт/(м·град)}; \quad (20)$$

\* Формула соответствует оригиналу.

для того же грунта в направлении, параллельном слоистости;

$$\lambda_{M\parallel} = (1 - L_B) \lambda_{Г} - L_B \lambda_{II}, \text{ Вт/(м·град)}; \quad (21)$$

для грунта сетчатой текстуры либо грунта с беспорядочным распределением включений льда

$$\lambda_M = \lambda_{Г} \frac{2(1 - L_B) \lambda_{Г} + (1 - 2L_B) \lambda_{II}}{(2 + L_B) \lambda_{Г} + (1 - L_B) \lambda_{II}}, \text{ Вт/(м·град)}, \quad (22)$$

где  $L_B$  - объемная льдистость грунта за счет ледяных включений в долях единицы;

$\lambda_{II}$  - коэффициент теплопроводности ледяных прослоек; для льда средней плотности принимается  $\lambda_{II} = 1,8 \text{ Вт/(м·град)}$ ;

$\lambda_{Г}$  - коэффициент теплопроводности минеральных прослоек грунта  $\text{Вт/(м·град)}$ , определяемый по приложению 1 СНиП II-18-76).

Для дисперсных и крупнообломочных грунтов коэффициент теплопроводности определяется методом стационарного теплового режима на образцах грунта размером не менее чем 20x20 см в плане, а также зондовыми методами непосредственно в массиве.

Контрольное определение теплоемкости мерзлого грунта производят методом калориметрирования, широко используется расчетный метод.

Коэффициенты теплопроводности засоленных мерзлых  $\lambda_{\text{Ж}}^3$  и талых  $\lambda_{\text{Т}}^3$  грунтов, а также объемная теплоемкость таких грунтов  $C_{\text{Ж}}$ ,  $C_{\text{Т}}$  определяются по таблице, приведенной в приложении 1 СНиП II-18-76.

18. Мерзлые скальные грунты, слагающие основания гидротехнических сооружений, по геокриологической характеристике подразделяются на два типа:

первый - мерзлые скальные грунты, трещины которых имеют лишь следы льда или мерзлого заполнителя;

второй - мерзлые скальные грунты, трещины которых заполнены льдом или льдонасыщенным дисперсным материалом.

Мерзлые грунты первого типа отличаются от талых пород только температурой. Деформационные и прочностные свойства таких грунтов при положительной и отрицательной температуре различаются незначительно.

Мерзлые скальные грунты второго типа в мерзлом и талом состоянии обладают, как правило, существенно различными механическими характеристиками, что выражается тем резче, чем больше трещиноватость пород, их льдистость, льдонасыщенность и распученность.

Криогенное строение пород в массиве зависит от истории геологического развития региона, определившей характер пород, их состав, трещиноватость, плотность, пористость; истории развития долины и динамики многолетнемерзлой толщи под влиянием изменения теплообмена, определивших формирование или преобразование состава пород, их пористости, трещиноватости, а также обводненность пород, их льдистость, льдонасыщенность. В результате в приповерхностной части мерзлые породы отличаются высокой льдистостью, часто вмещают мономинеральные скопления льда различного генезиса. Глубже в зависимости от положения уровней грунтовых вод к моменту многолетнего промерзания отмечаются как льдонасыщенные с различной льдистостью, так и морозные породы. По зонам повышенной трещиноватости, зонам тектонического дробления отмечаются наиболее льдистые породы в суровых мерзлотных условиях (при температуре пород ниже минус 3 °С); в мягких мерзлотных условиях (при температуре пород выше минус 3 °С) часто отмечаются водоносные талики.

19. Льдистость скальных пород складывается из трещинного льда, залегающего в виде прожилок, прослоев, линз, цемента в заполнителе трещин и межгранулярного льда внутри блоков, ограниченных трещинами, причем для ряда пород (магматических, метаморфических) количеством межгранулярного льда можно пренебречь. Льдистость в скальных породах, таким образом, определяется количеством трещинного льда и оценивается во взаимосвязи с трещиноватостью, а именно той частью объема трещин, которые выполнены льдом по отношению ко всему объему породы, т.е. если в массиве горных пород с объемным коэффициентом трещинной пустотности, равным 1%, все трещины выполнены прожилками льда, объемная льдистость таких пород равна 1%.

В ряде случаев весьма существенно оценить наличие в мерзлом массиве пустотелых трещин (части трещин). Это определяется льдонасыщенностью скальных пород, по величине которой можно выделить три группы пород. Если все поры, пустоты пород, характерные для них до промерзания, в мерзлом массиве заняты льдом, породы называются льдонасыщенными; если не содержат льда - морозными; в промежуточных вариантах - нельдонасыщенными (не полностью льдонасыщенными).

При определенных условиях промерзание льдонасыщенных скальных пород сопровождается расширением отдельных трещин и зон, аналогичное морозному пучению нескальных грунтов, и увеличением объема пород в массиве. При оттаивании такие породы способны давать осадки под действием собственного веса. Следует считать, что в мерзлом массиве такие породы распучены.

Породы второй и третьей группы по льдонасыщенности отличаются обычно отсутствием криогенного разуплотнения (распучивания). Породы первой группы при бесконтактном характере трещин до проведения полевых опытов по определению "тепловой" осадки принимаются как возможно распученные.

20. Для мерзлых, промерзающих и оттаивающих скальных и полускальных пород кроме обычных физико-механических характеристик, предусмотренных СНиП II-16-76 "Основания гидротехнических сооружений", необходимо определить:

суммарную льдистость, распученность заполнителя трещин;

характеристики, предусмотренные СНиП II-16-76 для двух состояний: мерзлого и после оттаивания;

модуль деформации пород;

параметры длительной прочности на сдвиг;

теплофизические характеристики всех разновидностей пород, а также заполнителя трещин и зон; температуру начала замерзания, коэффициент теплопроводности и объемную теплоемкость;

водопроницаемость пород.

21. Определение характеристик деформируемости рекомендуется выполнять полевыми методами (методом штампа). Во избежание изменения температуры мерзлых пород бетонирование штампа выполняется "холодными" цементными растворами, либо используется металлический штамп. После определения деформируемости мерзлых пород производится их протаивание на глубину, заведомо превышающую зону механического влияния загруженного штампа. При этом определяется осадка пород по мере развития чаши оттаивания - "тепловая" осадка. Вслед за этим выполняется определение деформируемости оттаявших пород по методике, принятой для талых пород.

22. Для оценки ползучести мерзлых грунтов методика испытаний должна предусматривать приложение постоянной длительно действующей нагрузки различной интенсивности, такие испытания необходимы также для установления предела длительной прочности мерзлого грунта.

23. Прочностные характеристики образцов мерзлых скальных и полускальных грунтов определяются по результатам испытаний образцов на косой срез, одноосное сжатие и растяжение и трехосное сжатие. Сопротивляемость массива сдвигу, являющаяся важнейшей характеристикой оснований подпорных гидротехнических сооружений, определяется, как правило, путем проведения целевых испытаний на плоский сдвиг.

Следует иметь в виду, что прочность образцов мерзлых скальных грунтов на одноосное сжатие-растяжение, косой срез и трехосное сжатие существенно выше, чем талых грунтов.

В качестве ориентировочных величин могут быть рекомендованы следующие. Прочность на одноосное сжатие мерзлых диабазов невысокой влажности на 30% выше талых, глинистых известняков - на 50%, мергелей при влажности 12-13% - почти в 5 раз.

Прочность при растяжении в мерзлом состоянии глинистых известняков ( $W=0,3 \div 1,4\%$ ) выше талых в 2,5 раза (с 6,5 до 16,2 МПа), песчаных известняков - более чем в 3 раза (с 0,39 до 1,28 МПа).

Данные о прочности на косой срез и трехосное сжатие мерзлых и талых образцов монолитных пород приведены в табл.12.

Таблица 12

**Параметры сопротивляемости срезу мерзлых и талых пород (по образцам)**

Наименование пород	Мерзлые породы		Талые породы		Влажность
	$C_M$ , МПа	$\varphi_M$ , град	$C_T$ , МПа	$\varphi_T$ , град	$W_c$ , доли ед.
Диабазы	30,0	36,5	3,0	36	0,0068
Известняки глинистые	16,0	37	10,6	37	0,016
Известняки песчанистые	9,0	36	5,8	36	0,014
Алевролит	10,0	30	5,0	30	0,065
Мергель с прослойкой песчаника	11,0	32	7,5	26	0,046
Мергель	3,7	35	0,8	35	0,12

Примечание. Параметр  $C_M$  для мерзлых пород заметно (на 30-50% и более) превышает параметр  $C_T$ , а параметр  $\varphi$  остался без изменения. Эта закономерность, по всей видимости, характерна для пород с относительно малой влажностью.

24. Сопротивляемость сдвигу распученных мерзлых трещиноватых скальных грунтов, как правило, существенно ниже сопротивляемости аналогичных мерзлых нераспученных грунтов. При определении и



оценке характеристик сопротивляемости мерзлых скальных грунтов сдвигу по льдозаполненным трещинам раскрытием от 1 до 10 мм необходимо иметь в виду следующее.

а) В зависимости от напряженного состояния, времени действия нагрузок, температуры, шероховатости поверхностей трещин и их льдистости сдвиг по льдозаполненным трещинам в скальных грунтах может происходить хрупко, либо пластично-вязко. В связи с этим сопротивляемость сдвигу по льдистым трещинам следует оценивать либо предельной сопротивляемостью льдистого заполнителя (пластично-вязкий сдвиг), либо предельной сопротивляемостью сдвига льдистого заполнителя и породы на участках жестких контактов поверхностей трещин.

б) В процессе оттаивания прогрессирующее нарастание смещений по льдистым трещинам происходит при отрицательной температуре, близкой к 0 °С. При этом происходит полное разрушение или образование жестких контактов и изменение сопротивляемости сдвигу по трещине. Величина предельной сопротивляемости сдвигу мерзлых скальных пород по льдонасыщенной трещине обусловлена в основном сцеплением отдельностей породы с льдистым заполнителем и температурой: при нагревании подобных пород от минус 10 °С до положительной температуры значение сцепления может снизиться в 5-7 раз, тогда как значение  $\operatorname{tg} \varphi$  - в 1,5 раза.

в) При малых нормальных нагрузках ( $\sigma < 4 \cdot 10^5$  Па) и относительно небольших касательных напряжениях ( $\tau < 0,5$ ) в интервале температур минус  $4 \pm 2$  °С развиваются деформации установившейся ползучести. При повышении интенсивности касательных нагрузок разрушение происходит хрупко, и параметры сопротивляемости сдвигу по трещине определяются только поведением льда, при этом величина сцепления близка к пределу прочности льда на срез. Длительная прочность трещиноватых мерзлых скальных грунтов с льдистым заполнителем трещин меньше мгновенной прочности в 2 и более раз.

На предварительных стадиях проектирования могут быть рекомендованы следующие ориентировочные значения сопротивляемости сдвигу шероховатых трещин с шириной раскрытия от 1 до 10 мм с льдистым заполнителем при хрупком разрушении:

$$\tau_{\text{пр(м)}} = (0,5 \div 0,9) \tau_{\text{пр(т)}}, \quad (23)$$

$$\tau_{\text{пр(м)}} = (0,4 \div 1,0) \sigma. \quad (24)$$

На рис.1 и 2 приведены результаты исследований сопротивляемости сдвигу гранита по шероховатым трещинам с льдистым заполнителем толщиной от 1 до 10 мм.

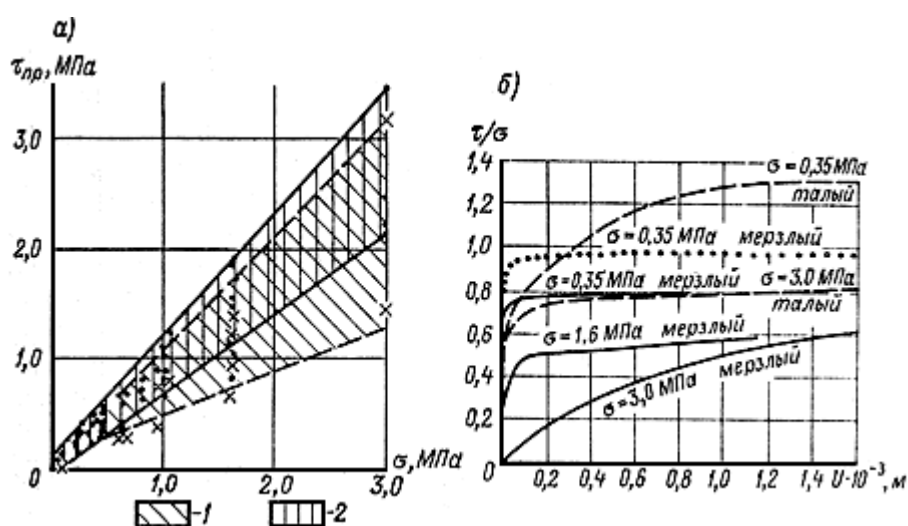


Рис.1. Результаты испытаний на сдвиг по льдистым и тальм трещинам

а - зависимость сопротивляемости сдвигу по трещинам от нормальных напряжений: 1 - мерзлые породы; 2 - тальные породы; б - зависимость величины смещений по льдистым трещинам от напряжений  $\sigma$  и  $\tau$ .

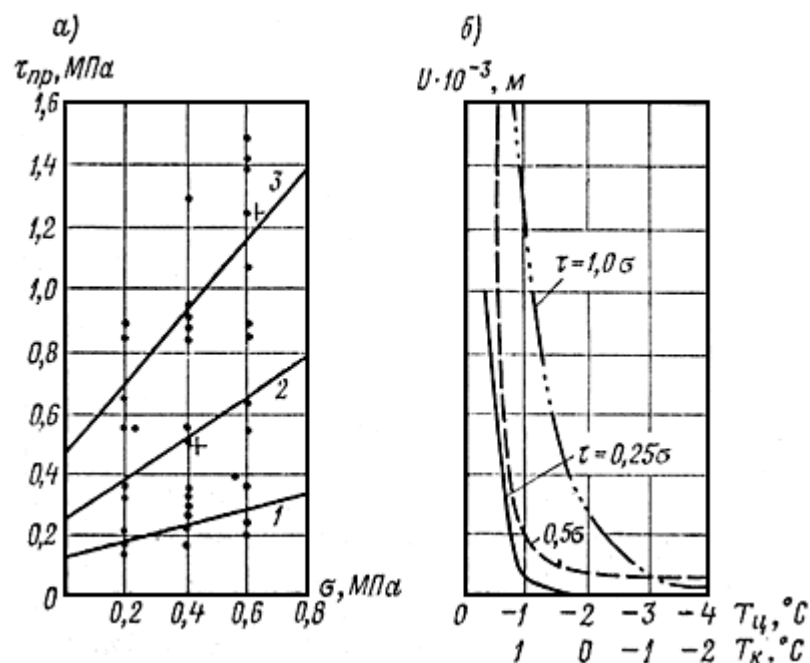


Рис.2. Результаты испытаний на сдвиг по шероховатым льдыстым трещинам при оттаивании

$\alpha$  - зависимость сопротивляемости сдвигу от температуры:

1 -  $T = -10 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; 2 -  $T = -10 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ ; 3 -  $T = -10 \text{ } ^\circ\text{C}$ ;

$\beta$  - зависимость смещений по трещинам от температуры льдистого прослоя и интенсивности касательных напряжений.

25. Для оценки горных пород, используемых в качестве строительных материалов, необходимо определение их морозостойкости, характеризующей степень снижения прочности образцов скальных грунтов в результате их замораживания и оттаивания. Следует иметь в виду, что снижение прочности происходит, во-первых, за счет внутренних напряжений, возникающих в горных породах вследствие различного коэффициента объемного расширения слагающих породу минералов и резкого различия температуры в разных зонах массива, и, во-вторых, за счет разрушающего воздействия замерзающей воды, находящейся в порах породы. Значения коэффициентов линейного расширения  $\alpha$  некоторых пород даны ниже.

#### Коэффициенты линейного расширения $\alpha$ некоторых видов скальных грунтов

Наименование пород	$\alpha \cdot 10^{-5}$ , 1/град
Галит	3,2
Слюда	2,1-3,4
Доломит	1,2
Кварцит	1,1
Сланец глинистый	0,9
Гранит	0,6-0,9
Диабаз	0,54
Базальт	0,54
Каолин	0,53
Песчаники	0,5-1,2
Мрамор	0,3-2,5
Гипс	0,22

При насыщении водой пор более чем на 80% воздействие замерзающей воды особенно сильно. Поэтому одним из главных факторов, определяющих морозостойкость пород, является их влажность. Морозостойкость пород зависит также от теплофизических и прочностных свойств породообразующих минералов, прочности цементационных связей, структурно-текстурных особенностей и ряда других факторов.

Плотные породы с жесткими кристаллизационными связями, сложенные мелкими зернами из прочных минералов, обладают высокой морозостойкостью, и наоборот, породы, содержащие слабopрочные минералы (хлорит, слюда, полевые шпаты) и достаточно пористые, имеют низкую морозостойкость.

26. Теплофизические характеристики скальных пород определяются лабораторными методами на образцах, полевыми зондовыми методами непосредственно в массиве; широко используются расчетные методы. Теплофизические характеристики зависят от типа пород, их влажности (льдистости), степени трещиноватости, льдонасыщенности и температуры. Изменение коэффициента теплопроводности скальных пород в зависимости от степени их влагонасыщения представлены на рис.3. При влажности (льдистости) скальных пород менее 1% различие коэффициента теплопроводности пород в мерзлом и талом состоянии практического значения не имеет. Показатели теплофизических свойств скальных пород даны в табл.13 и 14.

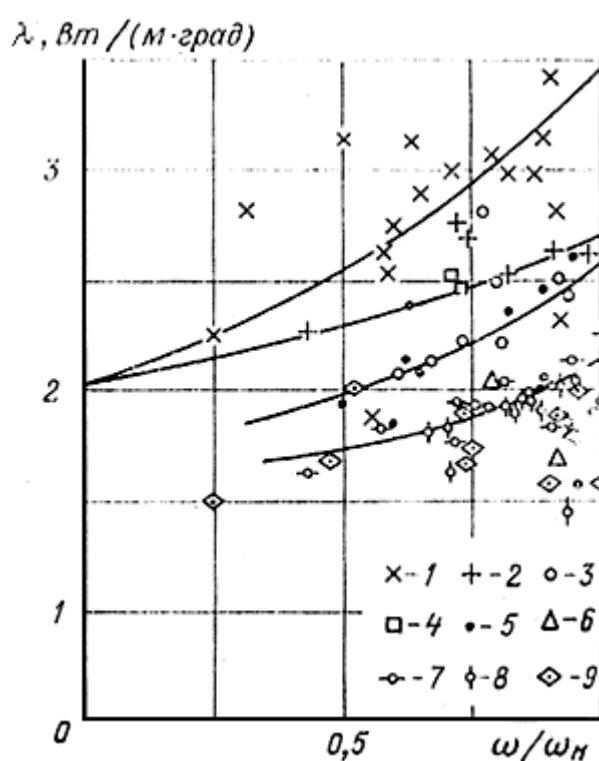


Рис.3. Зависимость коэффициента теплопроводности массива мерзлых горных пород от степени водонасыщения

- 1 - известняки и доломиты; 2 - аргиллиты; 3 - щебенисто-суглистый грунт; 4 - алевролиты и алевролитовые мергели; 5 - мергели известковистые и доломитовые зеленовато- и желтовато-серые; 6 - мергели глинистые;
- 7 - суглинок чистый и с включениями дресвы и щебня; 8 - красно-бурые мергели и глинистые доломиты;
- 9 - трещиноватые породы.

Таблица 13

**Теплофизические характеристики карбонатно-глинистых пород в мерзлом массиве**

Наименование пород	Весовая влажность $W_c$ , доли ед.	Объемная масса $\gamma_{об}$ , г/см <sup>3</sup>		Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·град)	Объемная теплоемкость $C$ Дж/(м <sup>3</sup> ·град)	Коэффициент температуропроводности $\alpha \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> /с
		влажной породы	скелета породы			

Известняки доломиты	и	0,09	2,420	2,220	3,5	2720	1,29
Аргиллиты алевролиты	и	0,12	2,350	2,100	2,7	2800	0,97
Мергели		0,11	2,370	2,140	2,5	2770	0,90
Песчаник, кварц - полевошпатовый		0,12	2,050	1,830	2,9	1990	1,44
Глина		0,12	-	-	1,76	-	-

Таблица 14

**Теплофизические характеристики скальных пород**

Наименование пород	Температура при опыте $T$ , °C	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/(м·град)	Удельная массовая теплоемкость $C$ , Дж/кг·град		Коэффициент температуропроводности, $\alpha \cdot 10^{-7}$ , м <sup>2</sup> /с
			0 °C	20 °C	
Магматические породы					
Кислые					
Гранит	20	2,3-4,1	690	960	6,1-7,6
Гранодиорит	-	-	710	960	-
Диорит	-	1,48-3,5	-	-	5,4-7,9
Кварцево-полево-шпатовый порфир	25	1,0	-	-	-
Пегматит	20	2,8	-	710	15
Средние					
Андезит	-	1,28-3,0	-	-	до 13
Сиенит	20	1,9-2,2	-	-	8,9
Трахит	17-20	1,7-2,6	-	-	9,7-10,0
Основные					
Базальт	20	2,1-2,8	840	1100	6,6-12,0
Габбро	20	1,7-2,9	680	1000	7,8-13,0
Диабаз	20	2,1-2,3	740	880	-
Ультраосновные					
Дунит	20	5,0	-	-	-
Перидотит	-	2,4-3,4	-	700	11,8-15,0
Пироксенит	-	3,2-3,5	-	680	16,0
Метаморфические породы					
Гнейс*	-	2,5-3,0	790	1000	11,8-16,0

Гранитогнейс**	-	1,18-3,5	-	-	до 16
		1,9-2,6	800***	-	
Кварцит	-	2,9-6,4	710	960	12-31
Кристаллические					
Сланцы	-	1,05-4,0	-	-	5,3-9,4
Мрамор	20	2,0-3,5	800	1000	5,3-8,6
Мраморизованные известняки	-	1,65-5,45	-	-	5,5-11,5
Карбонатно-галогеенные (доломиты, известняки, каменная соль)	-	3,95±0,29	1,16±0,76		1,41±0,8
Терригенные (песчаники, алевролиты, конгломераты)	-	2,56±0,42	1,22		11,1

\* Перпендикулярно слоистости,

\*\* Параллельно слоистости.

\*\*\* При 65 °С.

Теплоемкость (удельную, объемную) скальных пород обычно определяют расчетным путем из соотношений типа:

$$C_T = \frac{k'(C'_{СК} + C'_B W'_c) + k''(C''_{СК} + C''_B W''_c)}{1 + W_c}, \quad (25)$$

$$C_M = \frac{k'(C'_{СК} + C'_{П} W'_c) + k''(C''_{СК} + C''_{П} W''_c)}{1 + W_c}, \quad (26)$$

где  $C'_{СК}$ ,  $W'_c$  - удельная теплоемкость минерального скелета монолитного блока скальной породы и его суммарная влажность;

$C''_{СК}$ ,  $W''_c$  - удельная теплоемкость минерального скелета заполнителя трещин и его суммарная влажность;

$k'$  и  $k''$  - коэффициенты, отражающие весовое соотношение монолитных блоков и заполнителя трещин в единице объема грунта.

27. Значение коэффициента объемного расширения горных пород  $\beta$  примерно в 3 раза больше значения соответствующего коэффициента линейного расширения. Следует отметить, что слоистые породы могут обладать анизотропией по термическому расширению.

28. Водопроницаемость льдонасыщенных скальных пород в массиве практически равна нулю. Что касается неполностью льдонасыщенных и морозных пород, то они при определенных условиях (высокие температуры мерзлых пород, сосредоточенные открытые трещины) могут проводить воду по трещинам. Водопроницаемость пород в мерзлом массиве можно оценить методами воздушного опробования и расчетом по параметрам трещиноватости, льдистости, льдонасыщенности. Для оттаявших пород кроме этих методов на детальных стадиях проектирования необходимо выполнить полевые опытно-фильтрационные работы на предварительно оттаиваемых участках, размеры которых зависят от типа пород, их трещиноватости, блочности, характера и степени заполнения трещин. На площадке Колымской ГЭС для определения водопроницаемости гранитов в массиве, коэффициент трещинной пустотности которых изменяется от 0,5 до 1,5, опытный участок имел размеры в плане 50х50 м и глубину более 50 м.

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

При построении инженерно-геокриологических моделей (схематизации) оснований сооружений особое внимание необходимо уделить неблагоприятным в инженерно-геологическом отношении условиям, определяющим особенности проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. При этом рекомендуется выделить: наличие крупных наледей или широкое развитие наледей; широкое распространение сильнольдистых отложений, вмещающих мономинеральные скопления льда (повторно-жильного, пластового и т.п.); широкое развитие термокарста; обширные курумы (особенно современно развивающиеся).

Необходимо детально оценить типы, размеры, конфигурацию подрусловых таликов, температурный режим и водопроницаемость пород в их пределах. Особое внимание рекомендуется уделять горизонтам (участкам) с высокой льдистостью грунтов за счет текстурообразующего льда (распученных при промерзании) либо содержащим крупные мономинеральные обособления (скопления) подземного льда различного генезиса - пластовые залежи, клиновидно-жильные льды, ядра бугров пучения и т.п. В толщах (разрезах) пород необходимо выделить: твердомерзлые, пластичномерзлые, сыпучемерзлые, морозные породы, различающиеся по количеству льда, прочности льдоцементной связи и, как следствие, по физико-механическим характеристикам пород как в мерзлом массиве, так и при оттаивании пород в процессе строительства и эксплуатации сооружений.

Инженерно-геологическая схема основания должна состоять из серии схем - опорной-геоструктурной и специализированных: геофизической, фильтрационной, геотермической и геомеханической (прочностной, деформационной). Схемы оснований, отражающие строительные свойства грунтов, должны давать представление о соответствующих характеристиках грунтов и основания в целом на период начала строительства сооружений, а также прогноз их возможных изменений под влиянием строительных работ в процессе эксплуатации сооружений гидроузла.

Схемы оснований (модели) строятся в виде серии карт разрезов и погоризонтальных планов (срезов). Они должны содействовать обоснованию расчетных схем сооружений и оснований. Использование указанных схем и детальность их разработки зависит от класса проектируемого сооружения.

На рис.1-7 приведены примеры инженерно-геокриологической схематизации оснований, разрабатываемых при составлении моделей этих оснований.

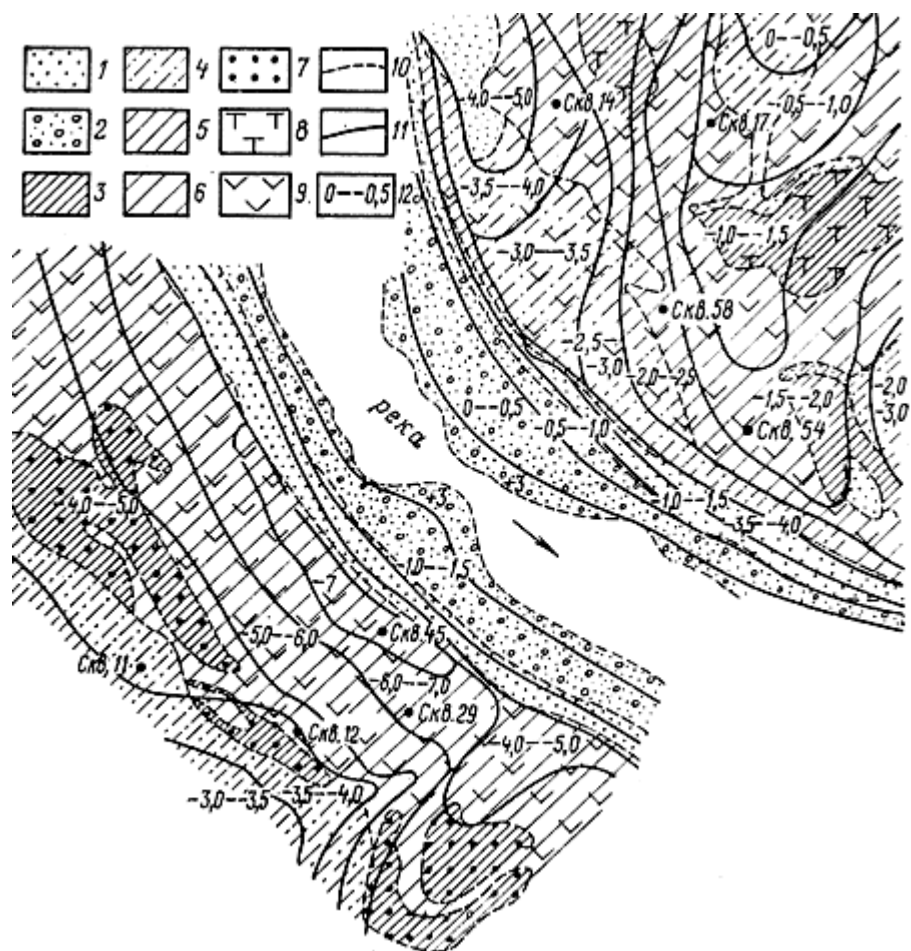
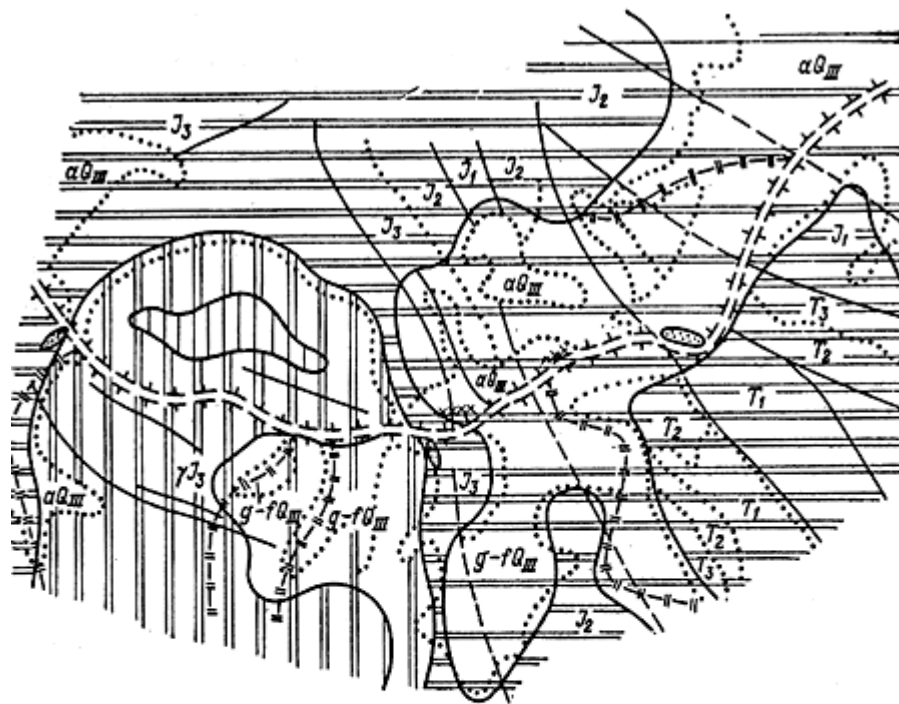


Рис.1. Мерзлотная карта крупного масштаба

Сингенетические мерзлые породы (аллювиальные): 1 - пески средне- и мелкозернистые; 2 - валунно-галечниковые отложения с гравийно-песчаным заполнителем. Эпигенетические мерзлые породы (делювиальные и гравитационные): 3 - суглинки легкие с дресвой и обломками диабазов и песчаников, подстилаемые песчано-глинистыми породами перми; 4 - супеси с обломками и дресвой диабазов, подстилаемые диабазами; 5 - суглинки легкие с обломками туфов и диабазов, подстилаемые туфами; 6 - суглинки легкие и средние с обломками и дресвой диабазов, реже туфов и песчаников, подстилаемые диабазами. Эпигенетические мерзлые породы коренной основы: 7 - пески и песчаники с прослоями аргиллитов нижнепермского возраста; 8 - мелкообломочные туфы и тонкослоистые туффиты нижнетриасового возраста; 9 - пластовые интрузии диабазов; 10 - границы литологических разностей; 11 - границы участков с различными среднегодовыми температурами пород; 12 - среднегодовые температуры пород (на глубине 9-16 м).

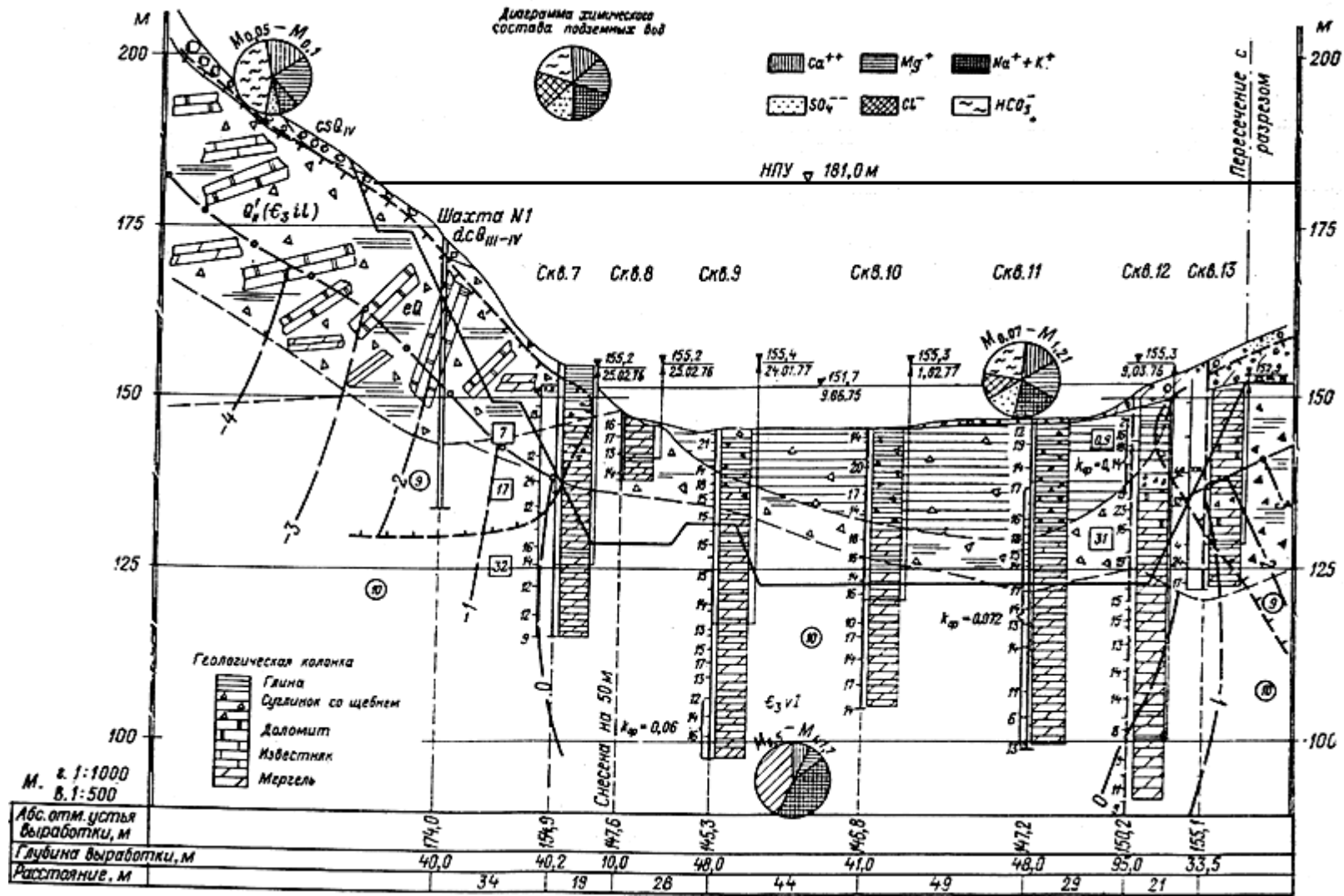


		Распространение		
		Среднегодовая температура пород	Прерывистое	Сплошное
Мощность, м	менее 50	0 ÷ -1°	-1 ÷ -2°	ниже -3°
	50-100			
	100-200			
	более 200			

Рис.2. Схематическая обзорная мерзлотно-геологическая карта района (М 1:200000)

Четвертичная система. Верхнечетвертичные отложения  $Q_{III}$ :  $\alpha Q_{III}$  - аллювиальные галечники, пески, валунники, суглинки;  $\alpha f Q_{III}$  - ледниковые и водноледниковые валунники, галечники, пески. Триасовая система:  $T_3$  - алевролиты, песчаники, туфопесчаники, туфы (верхний отдел);  $T_2$  - алевролиты, аргиллиты (средний отдел);  $T_1$  - аргиллиты с прослоями алевролитов. Юрская системы:  $J_3$  - аргиллиты с прослоями алевролитов (верхний отдел);  $J_2$  - аргиллиты, песчаники, туфопесчаники (средний отдел);  $J_1$  - аргиллиты, алевролиты с прослоями конгломератов (нижний отдел). - Магматические породы:  $\gamma J_3$  - биотитовые крупно-среднезернистые граниты; 1 - границы стратиграфические; 2 - тектонические разрывные нарушения; 3 - то же, предполагаемые под толщей четвертичных отложений; 4 - створ плотины; 5 - сквозной талик; 6 - несквозной талик; 7 - наледи; 9 - повторно-жильные льды.





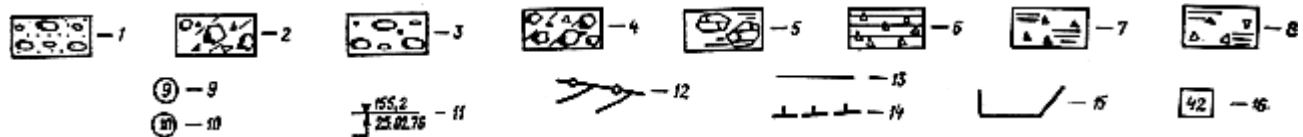


Рис.3. Инженерно-геологический разрез через долину реки

Четвертичная система (1-5). Современные отложения  $Q_{IV}$  (1-2): 1 - пойменные аллювиальные отложения  $aQ_{IV}$ : валунные и галечниковые грунты с песчаным, супесчаным и суглинистым заполнителем до 20%, мерзлые; криогенная текстура корковая, заполнителя - линзовая, льдистость 5-16%, мощность слоя до 10 м; 2 - коллювиально-солифлюкционные отложения (курумы)  $csQ_{IV}$ : глыбовые грунты со щебенистым и суглинистым заполнителем, мерзлые; криогенная текстура заполнителя - базальная и линзовидная, льдистость 30-60%, мощность отложений 3-5 м. Верхнечетвертичные современные отложения  $Q_{III-IV}$  (3-4): 3 - делювиально-коллювиальные отложения  $dcQ_{III-IV}$ : глыбовые грунты с супесчаным, древесным и щебенистым заполнителем; грунт мерзлый; криогенная текстура косослоистая и корковая, льдистость 20%, суммарная мощность отложений 7-10 м; 4 - элювиально-делювиальные отложения  $edQ_{III-IV}$ : глыбовые грунты со щебнем и суглинком до 25-30%, мерзлые; криогенная структура корковая, льдистость 10-15%, мощность отложений 3-7 м; 5 - оползневые образования  $dlQ$ : глины с дресвой и щебнем мергеля, доломитов и известняков; грунты мерзлые, криогенные структуры неправильносетчатые и корковые; в слое трещины, выполненные льдом и секущие как глинистую массу, так и обломки; льдистость с глубиной понижается от 20 до 5%, мощность слоя 20-30 м. Нерасчлененные четвертичные отложения. Элювиальные образования  $eQ$  (6-8): 6 - суглинки со щебнем до 30-40% малопрочных мергелей, талые; мощность слоя до 10 м; 7 - щебень и дресва малопрочных мергелей с глиной до 20-40%, мерзлые; криогенная структура линзовидная, сетчатая, трещинная, льдистость с глубиной понижается от 20 до 5%; 8 - те же породы, малые, мощность слоя 8-20 м. Коренные породы. Верхний кембрий  $ε_3$ . Верхоленская свита  $ε_3 vl$  (9-10); 9 - мергели с редкими пласоями (0,2-2,0 м) известняков и доломитов, породы мерзлые; криогенная структура трещинная (лед заполняет отдельные трещины шириной до 1 см), льдистость 5%; 10 - те же породы, но талые в бортах долины с отрицательной температурой и циркулирующими в них криопэгами); 11 - пьезометрический уровень межмерзлотных вод, м (вверху) и дата замера (внизу); 12 - подошва слоя годовых колебаний температур и изотерма; 13 - литологические границы; 14 - граница многолетнемерзлых пород; 15 - врезка сооружений; 16 - средняя минерализация воды, г/м. Криогенные текстуры: сл - слоистая, с - сетчатая; т.ж. - трещино-жильная. Цифры слева у скважин - суммарная влажность мерзлых пород, % (по лабораторным определениям);  $k_{ор}$  - коэффициент фильтрации, м/сут.

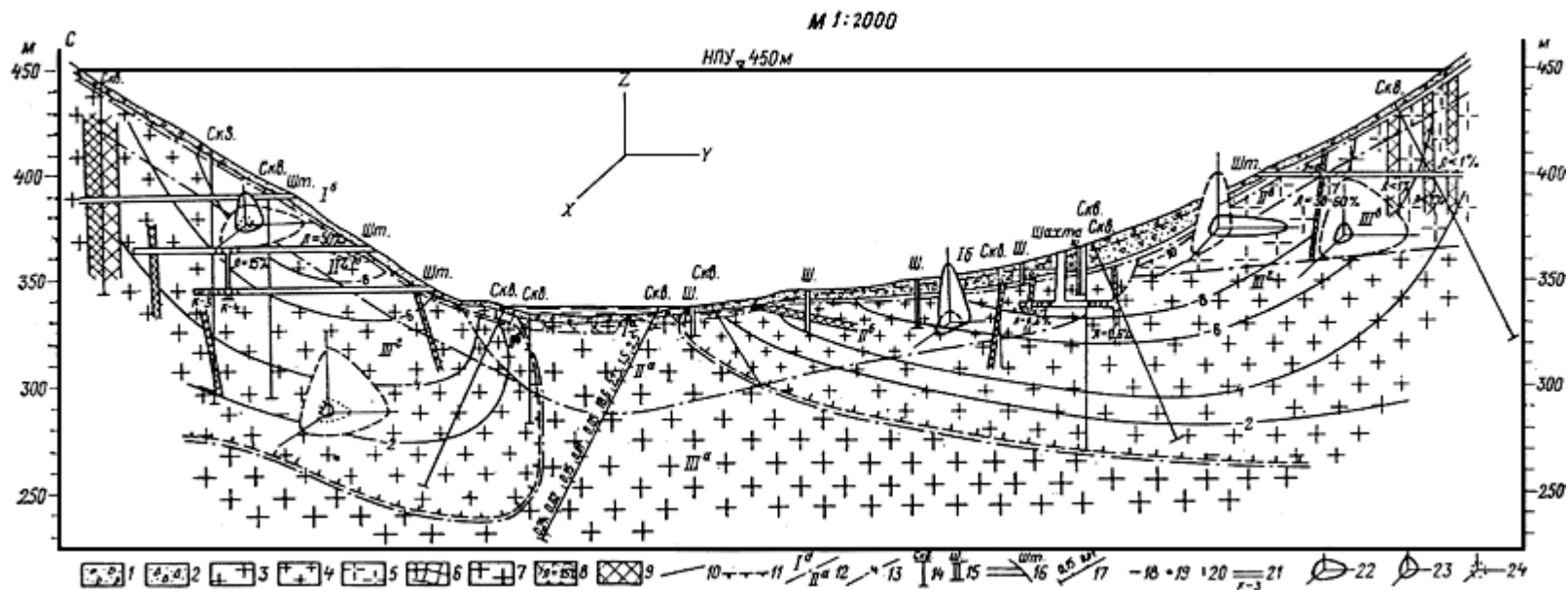


Рис.4. Инженерно-геологический разрез участка створа плотины

1 - аллювиальные гравийно-галечные образования; 2 - делювиальные глыбово-щебенитые образования; 3 - граниты биотитовые, средне- и крупнозернистые, порфириовидные, многолетнемерзлые, льдонасыщенные; 4 - то же, ослабленные криогенными процессами; 5 - то же, морозные локально льдонасыщенные; 6 - то же, интенсивно измененные процессами поверхностного выветривания; 7 - то же, талые, водонасыщенные; 8 - тектонические зоны и льдистость в их пределах; 9 - зоны сильнотрещиноватых гранитов; 10 - геолого-металогические границы; 11 - границы многолетнемерзлых пород; 12 - границы и номера элементов инженерно-геологического районирования; 13 - изотермы; 14 - скважина; 15 - шурф; 16 - штольня; 17 - величины удельных водопоглощений; 18, 19, 20 - местоположение штампов опытного нагружения в направлении (соответственно)  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ; 21 - номера опытных камер; эллипсоиды анизотропии; 22 - трещинной пустотности (масштаб: 1 см = 0,2%); 23 - статического модуля деформации мерзлых гранитов (масштаб: 1 см = 20 МПа); 24 - то же, оттаявших гранитов (масштаб: 1 см = 20 МПа).

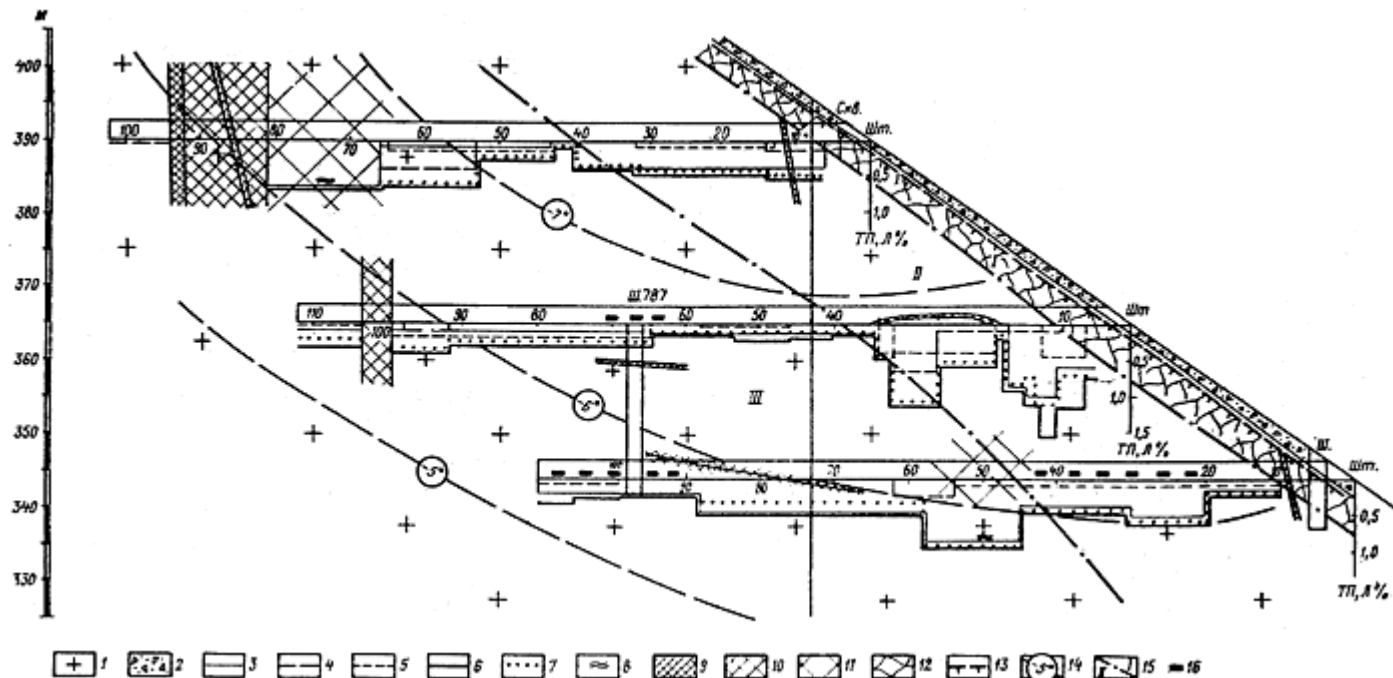


Рис.5. Инженерно-геологический разрез (левый берег, створ ГЭС)

1 - граниты биотитовые, трещиноватые; 2 - делювиально-коллювиальные отложения с песчано-супесчаным заполнителем; 3 - коэффициент трещинной пустотности, обусловленный пологими трещинами, раскрытием до 100 мм; 4 - то же, крутопадающими трещинами, параллельными долине реки; 5 - то же, крутопадающими трещинами перпендикулярными долине реки; 6 - объемный коэффициент трещинной пустотности массива (за счет всех систем трещин); 7 - объемная льдистость; 8 - ориентировочное значение коэффициента трещинной пустотности; 9 - тектоническая зона; 10 - зона сильнотрещиноватых пород; 11 - участок развития трещин, оперяющих тектоническую зону; 12 - зона интенсивного выветривания; 13 - граница многолетнемерзлых пород; 14 - изотерма; 15 - граница инженерно-геологической зоны, ее номер; 16 - место проведения опытных работ по определению модуля деформации и сопротивления сдвигу.

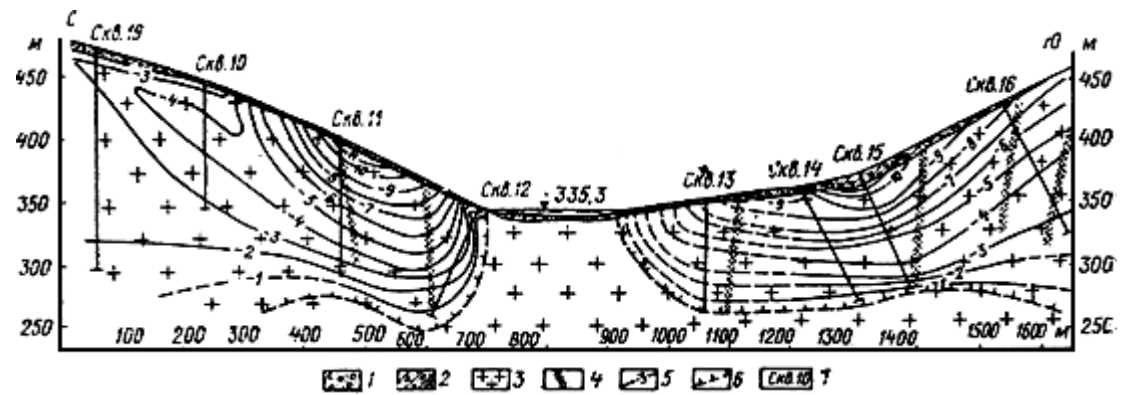


Рис.6. Геотермический разрез через долину реки

1 - аллювиальные гравийно-галечные образования с песчаным заполнителем; 2 - делювиальные суглинки со щебнем и дресвой гранитов; 3 - граниты; 4 - тектонические зоны; 5 - изотермы; 6 - границы многолетнемерзлой зоны; 7 - скважины, по которым проведены режимные температурные наблюдения.

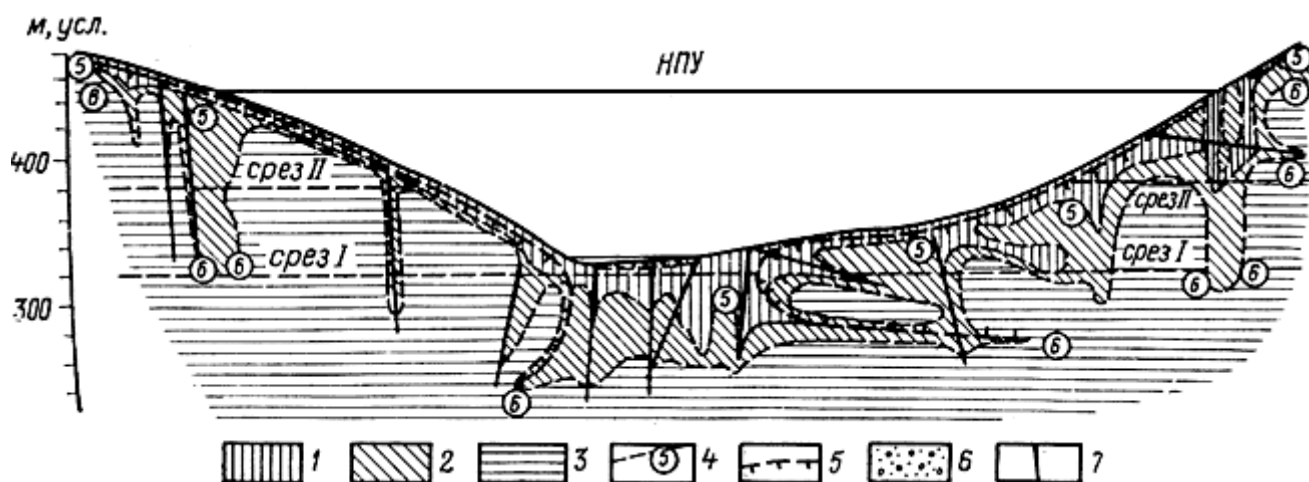


Рис.7. Сейсмогеологическая схема скального основания. Разрез на участке основания плотины

1 - область значений  $4 \text{ км/с} < V_p < 5 \text{ км/с}$ ; 2 - область значений  $5 \text{ км/с} < V_p < 6 \text{ км/с}$ ; 3 - область значений  $V_p \geq 6 \text{ км/с}$ ; 4 - изолинии скоростей продольных сейсмических волн; 5 - граница многолетнемерзлых пород; 6 - рыхлые четвертичные отложения; 7 - зоны повышенной трещиноватости гранитов.

Приложение 3  
Рекомендательное

## МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ТЕПЛО- И ГИДРОИЗОЛЯЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В зависимости от рода используемых теплогидроизоляционных материалов рекомендуется рассматривать следующие виды теплогидроизоляции:

асфальтовые из легкого асфальтобетона - на основе нефтяных битумов;

пеннопластовые - на основе эпоксидных и каменноугольных смол.

В качестве основного материала для теплогидроизоляции бетонных поверхностей массивных бетонных гидросооружений следует применять легкие асфальтобетоны, свойства которых регулируются добавлением различных марок битума или пластифицированием битума полимерными материалами.

Конструкция асфальтового теплогидроизоляционного покрытия должна включать в себя стенку ограждения, изоляционный слой из легкого литого асфальтобетона между стенкой ограждения и массивом бетона и анкеры - элементы, крепящие стенку к бетону (рис.1).

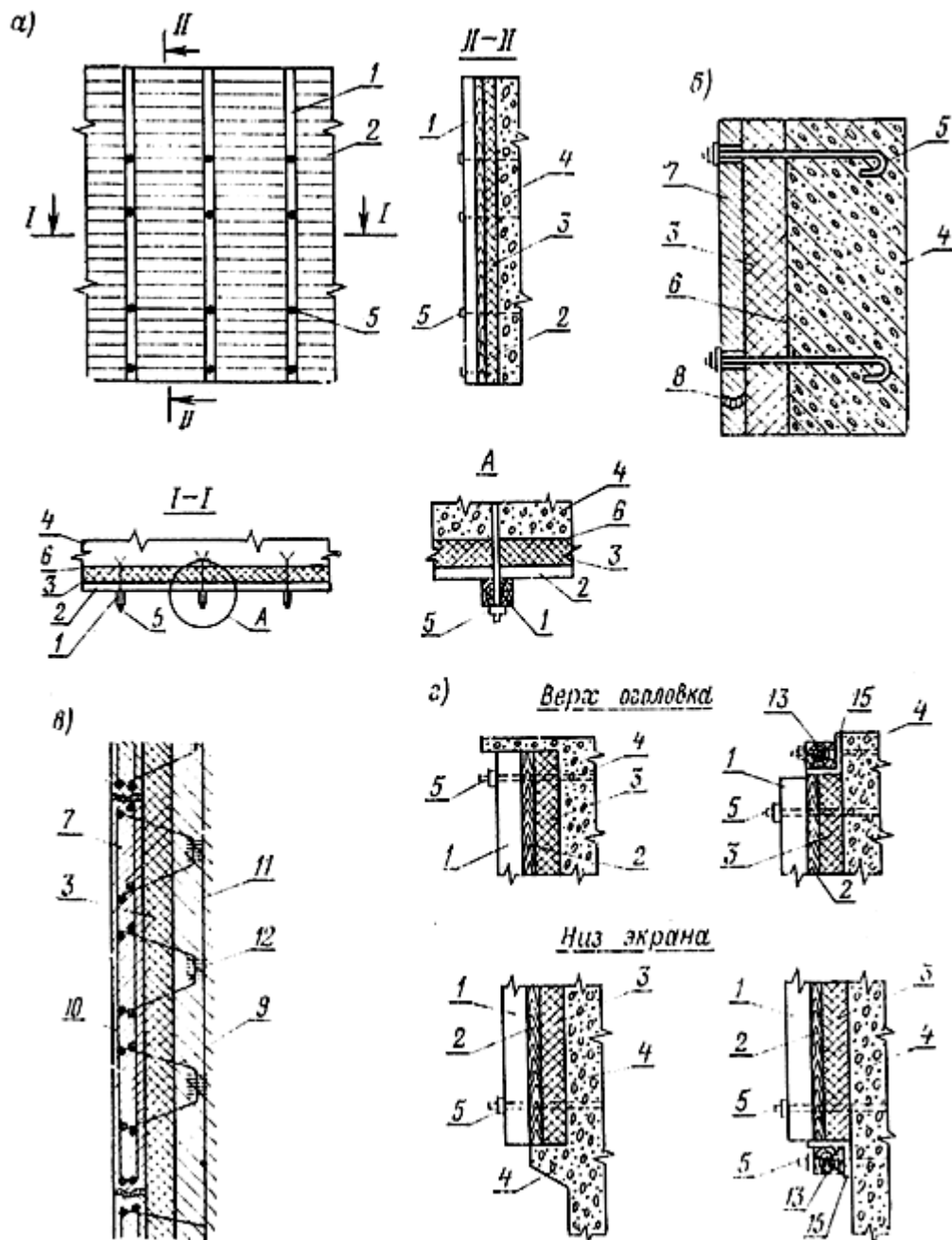


Рис.1. Конструкция теплогидроизоляции

а - монолитная с защитным ограждением из дерева; б - монолитная с защитным ограждением из железобетонных плит; в - из сборных плит-оболочек; г - конструкции сопряжений; 1 - деревянные стойки вертикального крепления стационарной опалубки; 2 - щиты из шпунтованных антисептированных досок; 3 - асфальтокерамзитобетон; 4 - изолируемая железобетонная конструкция; 5 - анкерные болты; 6 - окраска разжиженным битумом; 7 - железобетонные плиты; 8 - прокладка асфальтового армированного мата; 9 - выпуски арматуры ("змейки"); 10 - рабочая арматура плиты; 11 - то же изолируемой конструкции; 12 - связка проволокой или сварка; 13 - деревянный брус горизонтального крепления опалубки; 14 - железобетонная опорная консоль; 15 - асфальтовый мат.

Стенку ограждения следует устраивать из железобетонных и армоцементных плит и оболочек, антисептированной древесины, листовой стали, стеклопластиков. Железобетонные, армоцементные плиты и оболочки необходимо предварительно пропитать каменноугольным пеком, битумами или петролатумом. В том случае, если плиты сборного защитного ограждения изготавливаются из бетона повышенного качества, пропитка не требуется.

Ограждения из листовой стали, ввиду дефицитности металла и относительно высокой его стоимости, следует применять только при соответствующем технико-экономическом обосновании.

В зависимости от способа исполнения теплогидроизоляцию из легкого асфальтобетона следует подразделять на монолитную и сборную. Устройству теплогидроизоляции в сборном варианте следует отдавать предпочтение. В этом случае теплогидроизоляция должна устраиваться ярусами до бетонирования очередного участка конструкции и выполнять роль стационарной опалубки.

Для изготовления асфальтового изоляционного слоя следует использовать вязкие дорожные битумы марок: БНД-90/130, БНД-60/90, БНД-40/60 (ГОСТ 2245-76). Выбор марки битума должен производиться для каждого отдельного объекта индивидуально с учетом климатической зоны.

Для повышения трещиностойкости легкого асфальтобетона должны вводиться добавки к битуму. В качестве добавок рекомендуется применять резиновую крошку, каучуки, латексы, а также добавки к вяжущему волокнистого материала, например, коротковолокнистого асбеста 6-8 сорта (ГОСТ 12871-67\*<sup>1)</sup>).

<sup>1)</sup> Здесь и далее. Действует ГОСТ 12871-93.

В качестве заполнителя следует применять керамзитовый гравий и песок. Смесь этого заполнителя с минеральным порошкообразным наполнителем и битумом называется асфальтокерамзитобетоном.

Керамзитовый гравий и керамзитовый песок должны обладать хорошим сцеплением с битумом (показатель сцепления не менее 50%) и отвечать требованиям ГОСТ 9759-65.

При отсутствии керамзитового гравия или керамзитового песка в качестве минеральных заполнителей допускается применять вспученный перлит, вспученный вермикулит, диатомиты (трепелос) с объемной массой 400-700 кг/м<sup>3</sup>, пемзу, шунгизит, вулканические шлаки, дробленые туфы с объемной массой 400-600 кг/м<sup>3</sup>, каменноугольные и доменные шлаки. Каждая такая замена должна быть обоснована испытаниями готовой смеси с целью определения соответствия ее техническим требованиям на теплогидроизоляционный материал.

В качестве порошкообразных наполнителей для асфальтокерамзитобетона следует использовать искусственно измельченные известняки и доломиты, известняковые и доломитовые асфальтовые породы, основные металлургические шлаки, цемент, карбонатные лессы, пылевидные отходы промышленности, золу ТЭЦ угольную пыль, сланцевую золу, цементную пыль и др. При этом предпочтительно использовать порошки менее гидрофильные и имеющие основной характер.

Материалы, используемые для приготовления минеральных порошков, а также используемые в качестве порошкообразных наполнителей пылевидные отходы промышленности, должны быть чистыми, не содержать глинистых и загрязняющих примесей.

При использовании золы ТЭЦ в качестве минерального наполнителя не допускается содержание серы более 2%. Следует использовать золу-уноса ТЭЦ из электрофильтров и других очистных устройств топочных газов ТЭЦ. Зола должна быть сухой, с насыпной массой не более 550 кг/м<sup>3</sup>.

В целях улучшения свойств асфальтокерамзитобетона (повысить его прочность и водостойчивость, снизить потребность битума в составе асфальтокерамзитобетона) следует применять предварительно гидрофобизированные заполнитель и наполнитель.

При гидрофобизации исходный материал перемешивается с гидрофобизирующими растворами. В качестве гидрофобизаторов допускается использовать: мылонафт, асидол, олеиновую кислоту, разжиженные битумы, жировой гудрон и другие органические поверхностно-активные гидрофобизирующие вещества.

Состав литого асфальтокерамзитобетона должен подбираться лабораторным способом. Ориентировочные составы литого асфальтокерамзитобетона допускается принимать по табл.1.

Таблица 1

**Ориентировочные составы литого асфальтокерамзитобетона**

Наименование материала	Содержание материала, %
Керамзитовый гравий, фракции 5-20 мм	20-30
Высевки, фракции 0-5 мм	30-50
Наполнители	15-25



Битум БНД-60/90	10-16
Каучук ДСТ-50 или ДСТ-30 к битуму	1-5

Толщину изоляционного слоя в асфальтокерамзитобетонной теплогидроизоляции, обеспечивающую надежную работу бетона в зоне переменного горизонта воды, а также конструкцию ограждающего устройства следует обосновать расчетом (приложение 4).

В проектах плотин можно применять полимерную теплогидроизоляцию, представляющую собой водонепроницаемое теплозащитное покрытие на поверхности бетона. Оно включает в себя слой полимерного пенопласта и защитное ограждение из армированной эпоксидной гидроизоляции, металлических листов или железобетонных плит (рис.2).

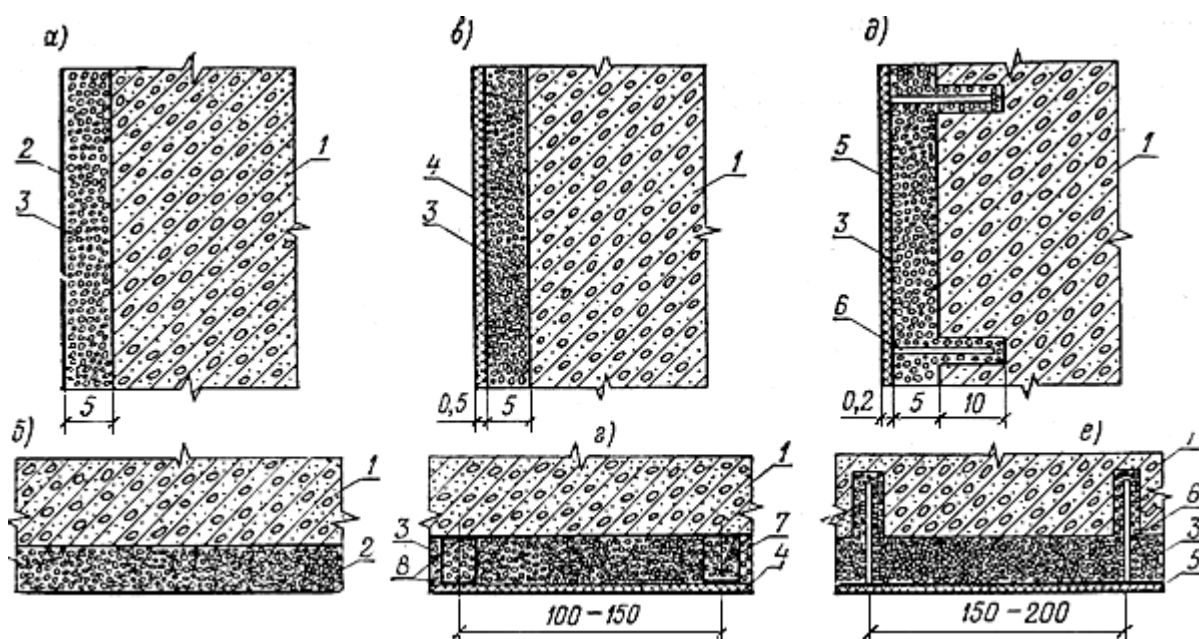


Рис.2. Типовые конструкции пеноэпоксидной теплогидроизоляции

*а, б* - вертикальный и горизонтальный разрезы теплогидроизоляции с ограждением из клееного стеклопластика; *в, г* - то же из листового полиэтилена; *д, е* - то же из металла; 1 - бетон конструкции; 2 - стеклопластик; 3 - пеноэпоксид; 4 - листовой полиэтилен; 5 - листовой металл; 6 - анкер; 7 - брус из пеноэпоксиды или древесины; 8 - эпоксидный клей. Размеры даны в см.

В практике, как правило, следует использовать следующие пенопласты:

1) поливинилхлоридный пенопласт ПВХ-1-115, выпускаемый промышленностью в виде плит толщиной 35-70 мм (ТУ 6-05-1179-75);

2) эпоксидные пенопласты, разработанные в НИС Гидропроекта им. С.Я.Жука\*, вспениваемые перед заливкой на месте применения;

3) эпоксидно-каменноугольные пенопласты, разработанные также в НИС Гидропроекта\*\*, которые, как и пеноэпоксиды, получают непосредственно на месте их приготовления.

\* А.с. 234666 (СССР). Способ получения пеноэпоксидов / В.И.Сахаров, Л.А.Игонин. Оpubл. в Б.И., 1969, N 4.

\*\* А.с. 515764 (СССР). Композиция для получения эпоксидного пенопласта / В.И.Сахаров, В.А.Сироткин, Оpubл. в Б.И., 1976, N 20.

Состав пеноэпоксидов следует подбирать лабораторным способом для каждого конкретного объекта. Допускаются к применению составы вспениваемых композиций, помещенные в табл.2. Теплогидроизоляционные свойства полимерных пенопластов приведены в табл.3.

**Рецептура вспениваемых композиций для получения эпоксидных пенопластов  
(по данным НИС Гидропроекта)**

Наименование исходного компонента	Содержание компонента в композиции, ч. м.	
	пенэпоксиды	эпоксидно-каменноугольные пенопласты
Эпоксидная смола ЭД-14 или ЭД-16 (ГОСТ 10537-76)	100	100
Каменноугольная смола (ГОСТ 4492-69)	-	90
Битум БНД-40/60 (ГОСТ 2245-76)	-	10
Пластификаторы:		
олигоэфирокрилат МГФ-9 (ТУ 6-01-460-76) или жидкий тиокол (ГОСТ 12812-72*)	20	-
жидкий тиокол или жидкий каучук (ГОСТ 1544-62)	-	20
Полиэтилгидросилоксан (ГОСТ 10934-76)	10	10
Полиэтиленполиамин (ТУ 6-02-574-75)	15	15

\* Действует ГОСТ 12812-80.

**Теплогидроизоляционные характеристики полимерных пенопластов (по данным НИС Гидропроекта)**

Наименование свойств	Характеристики пенопластов		
	пенэпоксиды	эпоксидно-каменноугольные	поливинилхлоридные
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	180-220	200-250	100-115
Предел прочности при сжатии, МПа	2,4-5,0	2,4-4,0	1,0
Предел прочности при растяжении, МПа	1,0-2,0	0,7-1,5	1,0
Предел прочности при изгибе, МПа	3,0-3,5	2,5-3,0	2,5
Полное водопоглощение, % объема	4,0-12	5-9	25-26
Капиллярное водопоглощение*, % объема	0-2	0,3-3,5	4,03
Гигроскопическое водопоглощение, % объема	0-1	0,3-0,6	0,32
Коэффициент теплопроводности, т/м·град	0,046-0,058	0,058-0,070	0,035-0,046
Коэффициент температуропроводности, м <sup>2</sup> /ч		(0,21 ÷ 0,22)10 <sup>-6</sup>	
Объемная усадка, % объема	0,7-0,8	1,0-3,2	-
Адгезия к бетону, МПа	3,0-5,5	3,0-5,0	-
Трудоемкость приготовления, ч·дн/м <sup>3</sup>	2,0	2,0	-

Стоимость по ценам 1974 г., руб/м <sup>3</sup>	730	452	200
------------------------------------------------	-----	-----	-----

\* Влажность до 30% практически не влияет на теплозащитные свойства пенопластов в интервале эксплуатационных температур (от -60 до 60 °С). В нормальных условиях влажность 30% и более может достигнуть в пенопластах после 50-100 лет эксплуатации. При механических повреждениях пенопластов их водопоглощение может достигать в течение короткого времени (1-2 года) 80-90%, т.е. теплогидроизоляция на повреждаемом участке практически теряет теплоизоляционные свойства.

Пенополивинилхлоридные теплогидроизоляции могут быть применены для обеспечения требуемого температурного режима надводных тонкостенных конструкций гидросооружений, а также подземных сооружений, если требуемый срок эксплуатации теплогидроизоляции не превышает 15-20 лет. В зонах переменного и изменяющегося уровней воды применение этого вида теплогидроизоляции не допускается.

Технология приготовления пеноэпоксидов, состоящая из дозирования и перемешивания исходных компонентов, должна включать в себя последовательные операции, как это показано на рис.3.

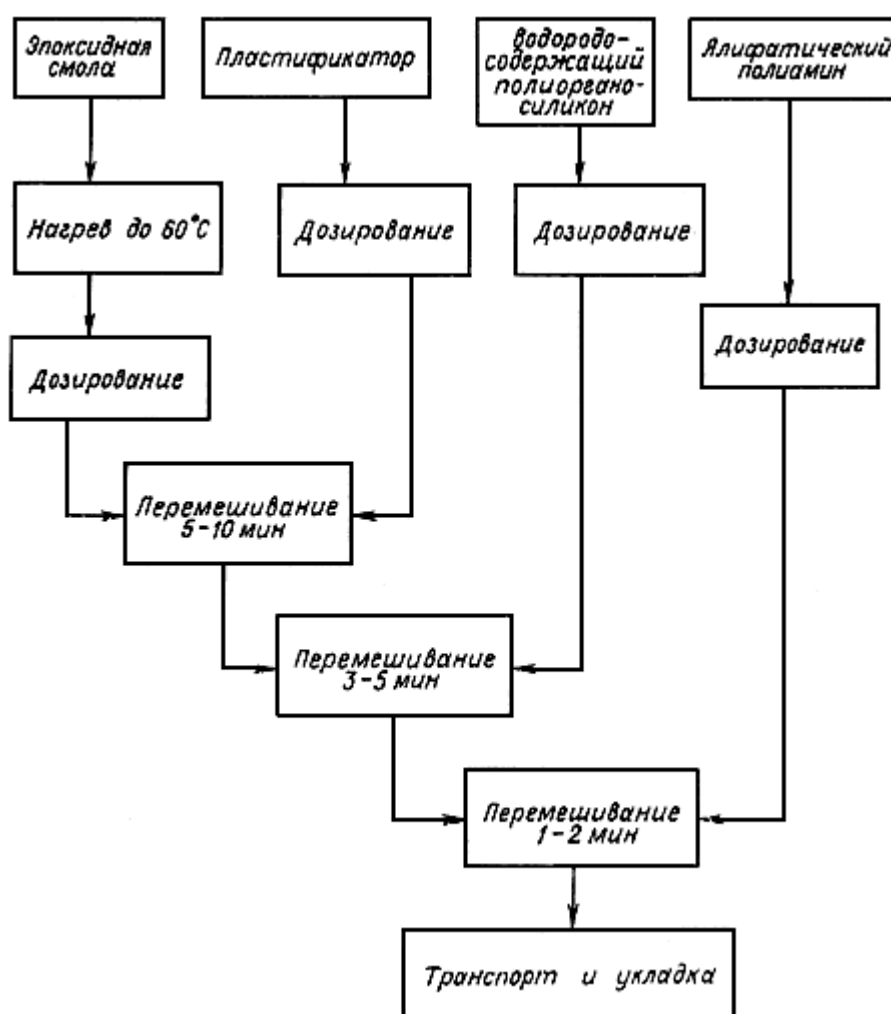


Рис.3. Технологическая схема приготовления пеноэпоксидов

Нанесение пеноэпоксидных теплогидроизоляционных покрытий следует осуществлять двумя способами:

заливкой вспениваемой композиции за элементы несъемной пеноэпоксидной или металлической опалубки;

заливкой вспененной композиции за передвижную металлическую опалубку.

В технологическую схему нанесения пеноэпоксидной теплогидроизоляции заливкой вспененной композиции за несъемную опалубку из пеноэпоксидов должны входить следующие производственные операции:

тщательная очистка поверхностей защищаемой конструкции от грязи, промывка струей воды под давлением и сушка;

покрытие торцов и опорных частей элементов опалубки вспененной композицией и прижатие их к поверхности массива бетона путем расклинки к специальной раме;

заливка вспененной композиции за опалубку;

срезка излишков пеноэпоксидов и установка следующего ряда элементов и снова заливка вспениваемой композиции;

заделка щелей между элементами кусочками отвержденного пеноэпоксидов и очистка поверхности покрытия от потоков пены и отдельных наплывов;

приклеивание эпоксидным лаком слоя стеклоткани и двухразовая окраска готового покрытия светоотражающим составом.

Гидроизоляция должна обеспечивать защиту бетона в гидротехнических сооружениях от вредного воздействия воды. Устройство гидроизоляции следует предусматривать в соответствии с требованиями п.1.34 СНиП II-54-77 "Плотины бетонные и железобетонные".

По способу устройства, специфике конструкции и используемых материалов гидроизоляция в гидротехническом строительстве подразделяется на следующие виды: асфальтовая (холодная, горячая), штукатурная, литая асфальтовая, пропиточная битумная, штукатурная минеральная, окрасочная полимерная и полимербитумная.

Для плотин, возводимых в районах со среднемноголетней отрицательной температурой, предпочтение следует отдать горячей асфальтовой штукатурной и литой асфальтовой гидроизоляции.

Горячая асфальтовая штукатурная гидроизоляция должна выполняться из расплавленных асфальтовых мастик и литых асфальтовых растворов специально подобранных штукатурных составов, которые представляют собой в нагретом состоянии литые смеси нефтяного битума с минеральным наполнителем (мастика) и среднезернистым песком (раствор), иногда с добавками пластификаторов (битумно-полимерные композиции).

Составы асфальтовых штукатурных растворов и мастик следует принимать по табл.4.

Таблица 4

#### Рекомендуемые составы асфальтовых штукатурных растворов и мастик

Наименование компонентов	Мастика, %	Раствор, %
Битум БН-70/30 (ГОСТ 6617-76)	30-35	24-26
Порошкообразный наполнитель (ГОСТ 9128-67)	57-60	25-35
Коротковолокнистый асбест (ГОСТ 12871-67*)	8-10	5-8
Среднезернистый песок	-	45-50

Устройство горячей асфальтовой штукатурной гидроизоляции должно включать в себя подготовку основания (изолируемая поверхность) и нанесение изоляционного слоя.

Подготовка основания перед нанесением изоляционного слоя должна включать в себя: выравнивание изолируемой поверхности, насечку бетона, очистку от пыли и грязи, подсушку до воздушно-сухого состояния и грунтовку разжиженным битумом. Нанесение гидроизоляции на влажное основание не допускается.

Горячую асфальтовую штукатурную гидроизоляцию следует выполнять асфальтометом отдельными наметами толщиной от 2 до 6 мм. Количество наметов, независимо от общей толщины гидроизоляции, в целях перекрытия возможных дефектных мест должно быть равным трем при напорах более 10 м и двум - при меньших напорах воды.

Толщину гидроизоляции и состав штукатурного материала следует назначать в зависимости от напора, агрессивности воды, интенсивности механических воздействий на гидроизоляционный покров, капитальности изолируемого сооружения и условий производства работ.

При отсутствии механических воздействий и при повышенных температурах во время эксплуатации (до 40 °С) штукатурную гидроизоляцию следует выполнять из асфальтовой мастики общей толщиной от 8 до 10 мм, а при наличии механических воздействий и при пониженной эксплуатационной температуре из штукатурного асфальтового раствора - общей толщиной от 10 до 18 мм.

При химически агрессивной воде-среде запрещается использование в качестве минерального порошкообразного наполнителя портландцемента, золы-уноса ТЭЦ и других химически активных порошков, а при кислотной агрессии рекомендуется использование тонкомолотого песка (маршалит, шамотный или кирпичный порошок).

Горячая асфальтовая штукатурная гидроизоляция выполняется, как правило, без защитного ограждения.

Асфальтовые литые гидроизоляции должны выполняться розливом и разравниванием горячих асфальтовых гидроизоляционных материалов на горизонтальном основании или заливкой их за опалубку или специальное ограждение для вертикальных поверхностей.

Асфальтовые литые гидроизоляции выполняются, как правило, из асфальтовых мастик, растворов и бетонов, приготавливаемых и применяемых в нагретом до 150-160 °С состоянии.

Асфальтовые мастики представляют собой смеси битума с минеральным наполнителем (известняковый, доломитовый, кирпичный порошок, цемент). Составы асфальтовых мастик для литой асфальтовой гидроизоляции следует принимать по табл.5.

Таблица 5

#### Рекомендуемые составы асфальтовых мастик

Наименование компонентов мастики	Содержание компонентов, % по весу					
	Нормальная мастика		Мастика с повышенной теплоустойчивостью		Мастика с повышенной динамической прочностью	
	БНД-40/60	БН-70/30	БН-70/30	БН-90/10	БН-70/30	БНД-40/60
Битум	30-35	35-40	30-35	35-40	75-80	80-85
Порошок	65-70	60-65	60-65	60-65	-	-
Асбест	-	-	5-7	5-10	15-20	-
Резиновая крошка	-	-	0-5	0,5	0-5	15-20

Для литой гидроизоляции допускается асфальтовый раствор следующего состава по весу, в %:

Битум БНД-40/60 или БН-70/30	15-20
Минеральный наполнитель (порошок)	25-35
Среднезернистый песок	40-50

Асфальтовые бетоны представляют собой смеси битума с минеральным наполнителем (асфальтовое вяжущее) и заполнителями (песок, щебень или гравий). Состав асфальтобетона должен подбираться по принципу плотных смесей. Допускается следующий примерный состав его для литой гидроизоляции, в %:

Битум БНД-40/60	10-15
Порошкообразный наполнитель	15-25
Разнозернистый песок	20-40
Щебень или гравий крупностью до 25 мм	30-50

Асфальтовые литые гидроизоляции следует применять в особо ответственных случаях, например, при высоких напорах с целью повышения долговечности и эксплуатационных качеств сооружения, снижения требований к бетонной кладке в части водонепроницаемости, трещиностойкости и морозостойкости, в

особенности тогда, когда опорожнение водохранилища не производится и ремонт гидроизоляции на напорной грани практически невозможен.

В качестве надежной в работе противофильтрационной гидроизоляции на напорной грани плотин следует применять асфальтовый экран. Он включает в себя стенку, расположенную на некотором расстоянии от поверхности бетона массива сооружения, анкеры-элементы, крепящие стенку к бетону, и изоляционный слой из литого асфальтового материала, помещаемый между стенкой ограждения и массивом бетона (рис.4).

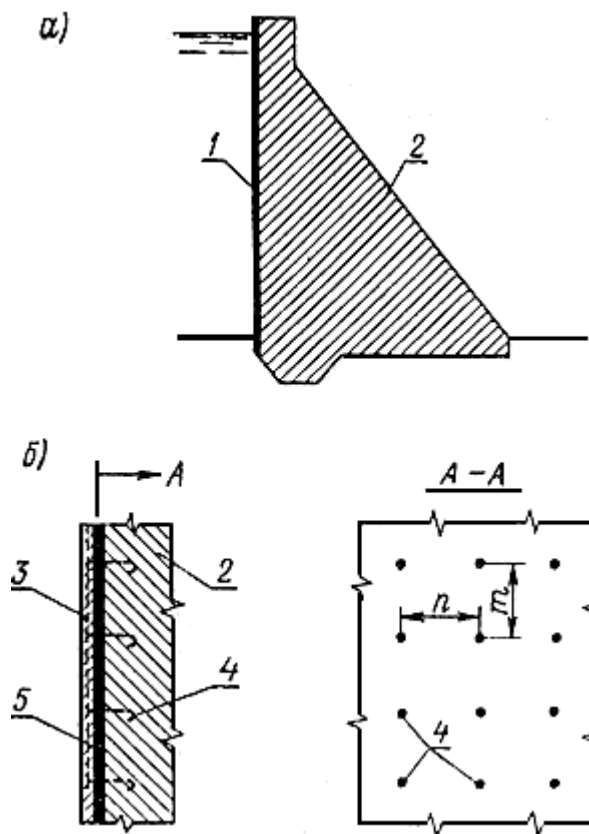


Рис.4. Схема плотины с асфальтовым экраном

а - поперечный разрез плотины; б - схема конструкции экрана; 1 - асфальтовый экран; 2 - тело неомонолитиваемой плотины из жесткого тощего бетона; 3 - ограждающая стенка экрана; 4 - ее крепящие элементы (анкера); 5 - изоляционный слой из литого асфальта.

В качестве гидроизоляционного материала для экранирования бетонных плотин применяется, как правило, асфальтокерамзитобетон, представляющий собой смесь битумов с керамзитовым гравием, песком и минеральным порошкообразным наполнителем.

Приложение 4  
Рекомендательное

## РАСЧЕТЫ ТЕПЛОГИДРОИЗОЛЯЦИИ И ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ ИЗ АСФАЛЬТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

### Расчет теплогидроизоляции из асфальтовых материалов

Расчет теплогидроизоляции из асфальтовых материалов должен включать тепловой и реологический расчеты.

Тепловой расчет позволяет при известных теплофизических характеристиках материала изоляционного слоя и характере внешних температурных воздействий среды на бетон в зоне переменного горизонта воды с учетом теплового состояния бетона определить необходимую толщину теплоизоляционного слоя, обеспечивающего надежную работу бетона в указанной зоне.

Реологический расчет дает возможность обоснованно назначать необходимые характеристики материала изоляционного слоя, исходя из предположения текучести материала в заданных температурных условиях, и обосновать необходимую конструкцию ограждающего устройства.

При определении необходимой толщины теплогидроизоляционного слоя для зоны переменного горизонта воды необходимо рассматривать следующие три реальных случая температурного состояния поверхностной зоны массива и температуры наружной среды (рис.1).

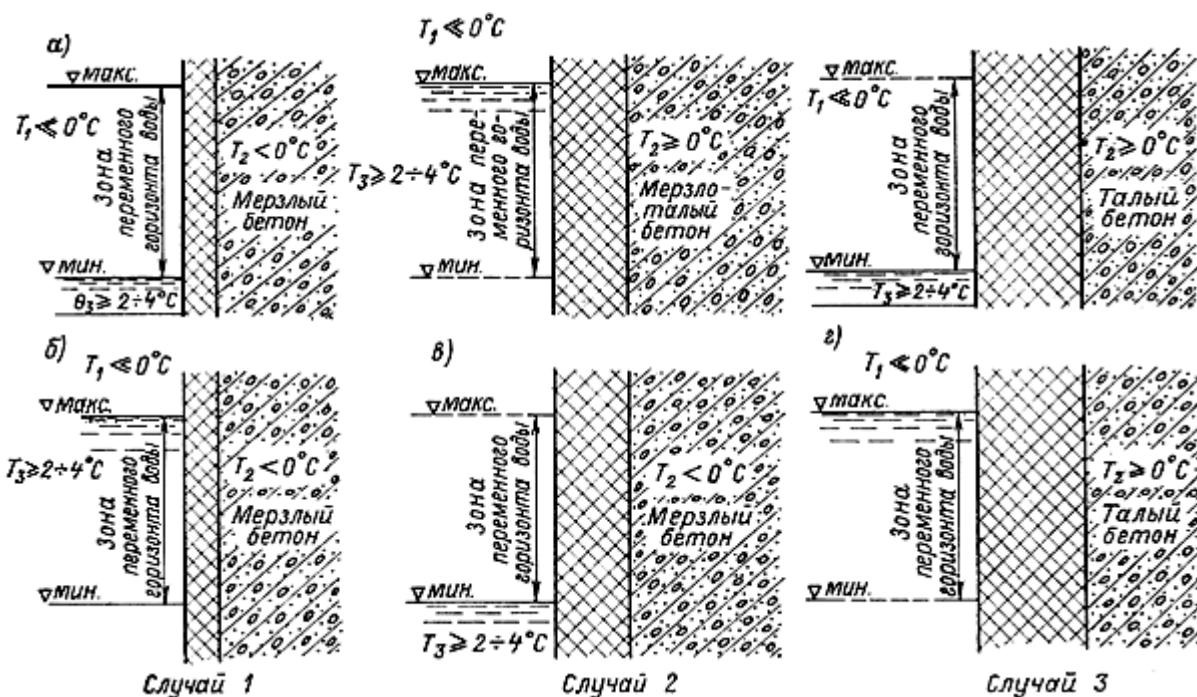


Рис.1. Температурное состояние поверхностной зоны бетона в зависимости от толщины асфальтокерамзитобетонной теплогидроизоляции

а - исходное состояние; б, г - тепловое состояние в процессе оттаивания;  
в - тепловое состояние в процессе замораживания.

Случай 1. Выбор необходимой толщины теплоизоляционного слоя из соображений сохранения поверхности бетона защищаемого массива в замороженном состоянии.

В данном случае толщина теплоизоляционного слоя должна выбираться из соображений, чтобы в случае снижения горизонта воды до минимального уровня происходило быстрое промораживание поверхности бетона за счет низких отрицательных температур наружного воздуха в осенне-зимне-весенние периоды, но при этом толщина слоя теплоизоляции должна быть такой, чтобы при подъеме горизонта воды не происходило размораживание поверхности бетона основного массива за время стояния воды на максимальном уровне.

Случай 2. Выбор необходимой толщины теплоизоляционного слоя из условия резкого снижения числа циклов замораживания и оттаивания до величин, не вызывающих разрушения поверхности бетона. Толщина изоляционного слоя должна выбираться в зависимости от конкретных условий эксплуатации, конструкции сооружения и используемого бетона в зависимости от марочной морозостойкости.

Случай 3. Выбор необходимой толщины теплоизоляционного слоя из условия недопущения замораживания бетона основного массива и снятие температурных ударов в период эксплуатации.

Бетон в исходном положении находится в размороженном состоянии. При снижении горизонта воды в зоне переменных уровней в зимние периоды происходит воздействие низких отрицательных температур, при этом толщина слоя теплоизоляции должна выбираться такой, чтобы при воздействии низких отрицательных температур не происходило замораживание бетона.

При рассмотрении задачи об определении необходимой толщины теплогидроизоляционного слоя в зависимости от состояния поверхности бетона (мерзлый, талый или мерзло-талый бетон) может быть использован, например, численный метод расчета - метод сеток.

Для расчета толщины изоляционного слоя необходимы следующие данные:

график изменения температуры на внешней границе теплоизоляционного слоя;

начальное распределение температуры в поперечном сечении изоляционного слоя и в бетоне;

теплофизические характеристики теплоизоляционного материала.

При расчете толщины изоляционного слоя влияние ограждающего устройства, как правило, не учитывается.

Закон изменения температур на наружной поверхности теплоизоляционного слоя должен устанавливаться в каждом отдельном случае в зависимости от конкретных условий работы сооружения. Для этого следует рассмотреть графики изменения мощности, в разрезе суток, расходов и уровней воды.

Теплофизические характеристики теплоизоляционного материала и бетона основного массива, входящие в расчетные формулы, следует принимать постоянными и независимыми от температуры. Для ориентировочного расчета их можно принять следующими: коэффициенты температуропроводности асфальтокерамзитобетона  $\alpha_{акб} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$  и бетона основного массива  $\alpha_{б} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$ .

При проектировании ограждающего устройства в асфальтокерамзитобетонной теплогидроизоляции, так же как и любой другой конструкции сооружения, необходимо назначать такие размеры отдельных ее частей, при которых вполне обеспечивалась бы надлежащая их прочность. Для этого прежде всего следует выяснить действующие на конструкцию нагрузки.

Из внешних нагрузок, действующих на ограждение, следует учитывать: гидростатическое давление воды и давление асфальтового материала изоляционного слоя экрана (рис.2, а, б).



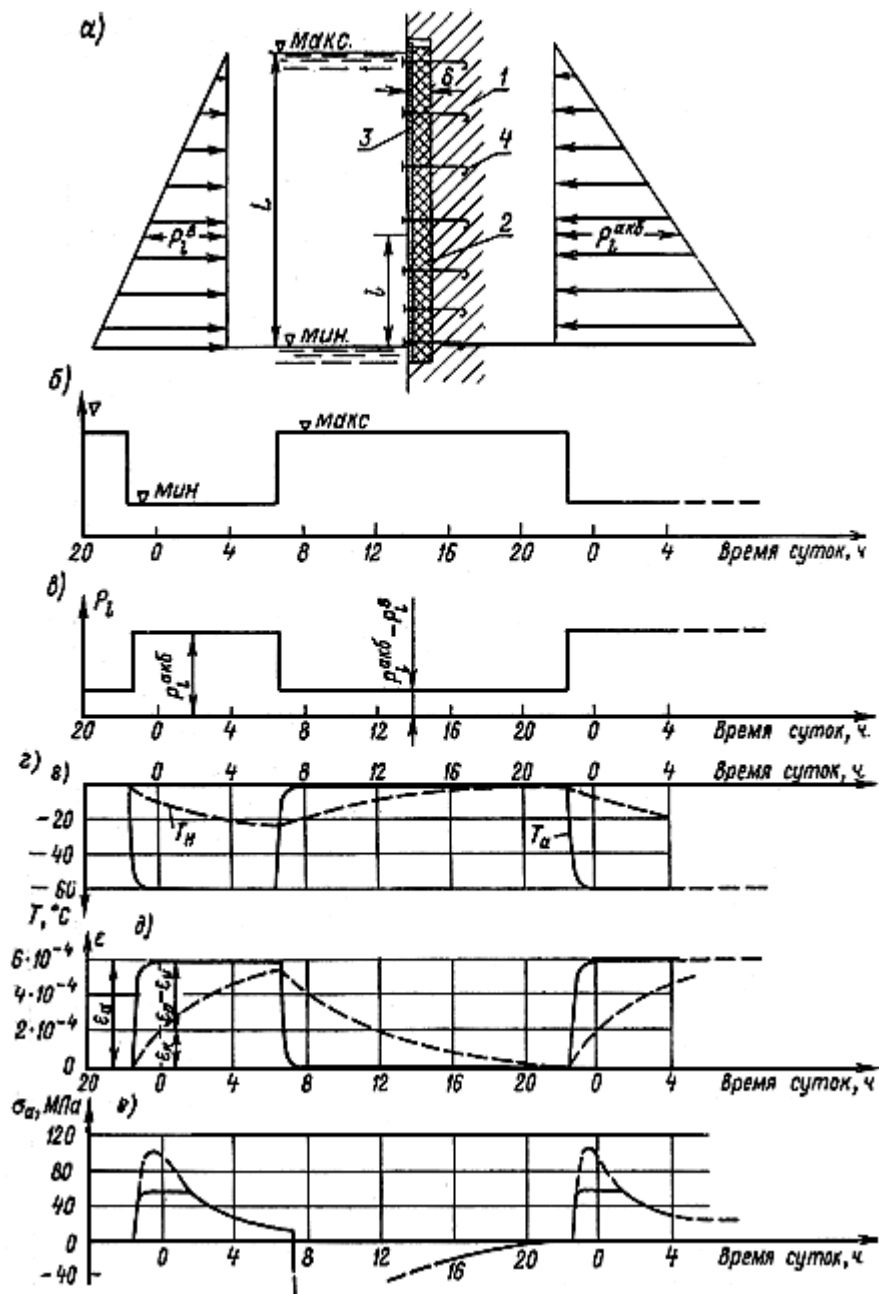


Рис.2. К расчету ограждения

а - теплогидроизоляционное устройство и эпюры давлений на ограждение: воды ( $P_C^B$ ) и асфальтокерамзитобетона ( $P_C^{акб}$ ); б - график колебания горизонта воды; в - изменение внешних нагрузок на ограждение; г - средние температуры: \_\_\_\_\_ стержня и ----- АКБ-слоя; д - относительные деформации: \_\_\_\_\_ стержня и ----- АКБ; е - температурные напряжения в стержне; 1 - изолируемое сооружение; 2 - теплогидроизоляционный слой; 3 - стенка ограждения; 4 - анкер.

Внутренние напряжения на ограждение при совместной работе асфальтокерамзитобетона и стали в конструкции теплогидроизоляционного экрана необходимо определять в нижеуказанной последовательности.

1. Устанавливается закономерность изменения средних температур анкера и изоляционного слоя (рис.2, г). Можно принять, что температура анкера следует за ходом температуры воздуха. В то же время средняя температура изоляционного слоя в изменении своем значительно отстает от хода температуры воздуха.

2. Определяются относительные деформации (рис.2, д):

$\varepsilon_a$  - арматуры;  $\varepsilon_H$  - изоляционного слоя по зависимости:

$$\varepsilon_a = \alpha_{ст} \cdot \Delta\theta_a \text{ и } \varepsilon_H = \alpha_{акб} \cdot \Delta\theta_H, \quad (1)$$

где  $\alpha_{ст}$  и  $\alpha_{акб}$  - коэффициенты линейного расширения стали и асфальтокерамзитобетона. При вычислении  $\varepsilon_a$  и  $\varepsilon_H$  можно принять:  $\alpha_{ст} = 12 \cdot 10^{-6}$  и  $\alpha_{акб} = 32 \cdot 10^{-6}$  1/град.

3. Вычисляются напряжения в анкере (рис.2, з) по зависимости:

$$\sigma_a = E_{ст} (\varepsilon_a - \varepsilon_H). \quad (2)$$

В случае, если напряжения в анкере весьма значительны и превосходят расчетные величины, то допускается использовать следующие пути, ведущие к снижению дополнительных температурных напряжений до безопасной величины:

сделать ограждение достаточно деформируемым;

снизить вязкость материала изоляции - асфальтокерамзитобетона до величины, обеспечивающей необходимую скорость сужения изоляционного слоя при расчетных напряжениях.

Задача снижения дополнительных температурных напряжений до заданных безопасных величин решается в следующей последовательности:

по зависимости (2) находится  $\sigma_{макс}$  в анкере;

определяется максимальная скорость отставания деформаций анкера и изоляционного слоя по зависимости

$$u_{отст} = u_a - u_H = \frac{\Delta l_a - \Delta l_H}{t}, \quad (3)$$

где  $\Delta l_a$  и  $\Delta l_H$  - температурные укорочения анкера и сужение изоляционного слоя соответственно через время  $t$  после начала снижения горизонта воды;

в соответствии с расчетным температурным напряжением в анкере  $\sigma_{доп.т}$  назначается расчетная скорость  $u_p$  сужения изоляционного слоя по зависимости:

$$u_p = u_{отст} \left( 1 - \frac{\sigma_{доп.т}}{\sigma_{макс}} \right), \quad (4)$$

$$\sigma_{доп.т} = \sigma_{доп} - \sigma_{в.н}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{доп}$  - расчетное напряжение в анкере по нормам;  $\sigma_{в.н}$  - напряжение от внешних сил;

строятся эпюры давлений на стенку ограждения по ее высоте при расчетной скорости сужения  $u_p$  по зависимости, полученной согласно расчетной схеме (рис.3):

$$F_l = \frac{2^{\frac{\beta+1}{\beta}} [\eta]^{\frac{1}{\beta}} (\beta+2)^{\frac{1}{\beta}} u_p^{\frac{1}{\beta}}}{\delta^{\frac{\beta+2}{\beta}} \left( 1 + \frac{1}{\beta} \right)} \left( L^{\frac{1+\frac{1}{\beta}}{\beta}} - l^{\frac{1+\frac{1}{\beta}}{\beta}} \right) + \rho g (L-l), \quad (6)$$

где  $[\eta]$  - псевдовязкость, определенная для начального участка кривой деформирования;  $\beta$  - мера аномальности;  $\rho$  - плотность асфальтового материала;  $g$  - ускорение силы тяжести.

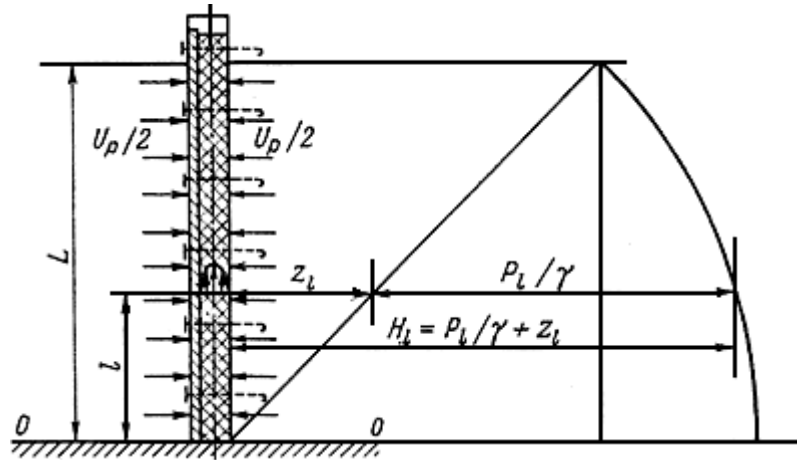


Рис.3. К расчету ограждения. Внутренние давления при сужении изоляционного слоя

**Пример расчета температурного поля в теплоизоляционном слое и бетоне основного массива при работе сооружения в условиях Вилуйской ГЭС**

Дано: Графики изменения мощности, расходов и уровней воды в течение суток (рис.4) и графики изменения температур (рис.5), коэффициенты теплопроводности асфальтокерамзитобетона  $\alpha_{акб} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{ч}$  и бетона основного массива  $\alpha_{б} = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{ч}$ , температура воды и наружной поверхности теплоизоляционного слоя при его оттаивании  $T_{в} = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

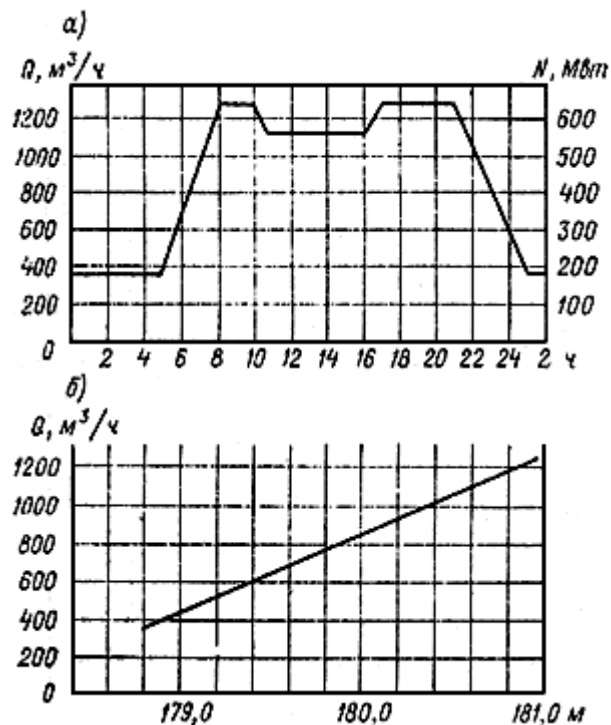


Рис.4. График работы Вилуйской ГЭС в зимний период

а - изменение мощности и расходов в течение суток;  
 б - изменение уровня воды в нижнем бьефе в зависимости от расхода воды.

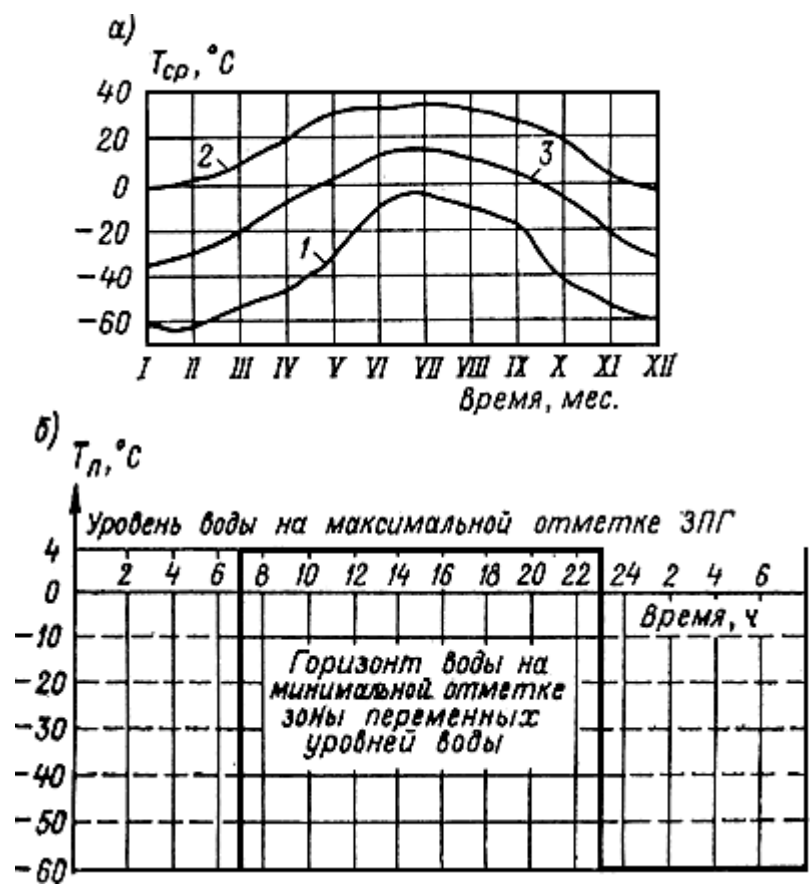


Рис.5. График изменения температур

- а - годовой ход температуры наружного воздуха: 1 - минимальные; 2 - максимальные; 3 - средние;  
 б - изменение температуры на внешней поверхности теплогидроизоляции в зоне переменных уровней воды в течение суток.

Требуется: Произвести расчет температурного поля для различных толщин изоляционного слоя  $\delta=5, 10, 15$  и  $20$  см и при следующих температурах на внешней поверхности теплогидроизоляции  $T_{II} = -20, 30, 40, 50$  и  $60$  °C.

На рис.6 представлены расчетные суммарные графики изменения температур на заданные моменты времени для процесса замораживания и оттаивания в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя и температур на внешней поверхности изоляции, построенные по результатам расчетов методом сеток.

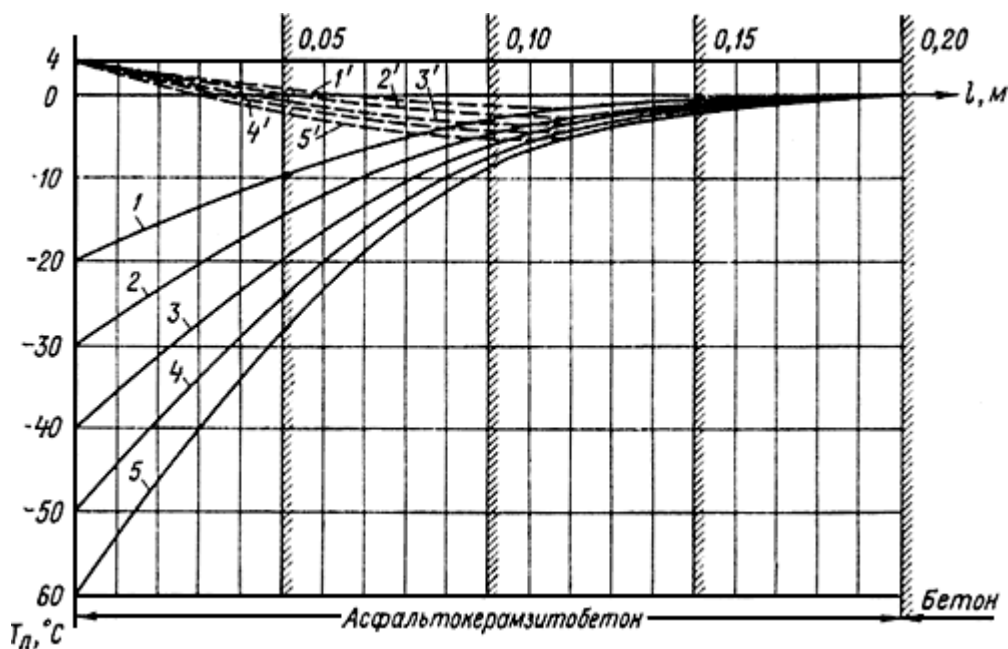


Рис.6. Эпюры температур в зависимости от толщины теплоизоляционного слоя и температуры на внешней поверхности теплоизоляции

— при остывании в течение 8 ч: 1 -  $\vartheta_{\text{II}} = -20^\circ\text{C}$ ; 2 -  $\vartheta_{\text{II}} = -30^\circ\text{C}$ ; 3 -  $\vartheta_{\text{II}} = -40^\circ\text{C}$ ; 4 -  $\vartheta_{\text{II}} = -50^\circ\text{C}$ ; 5 -  $\vartheta_{\text{II}} = -60^\circ\text{C}$   
 --- при оттаивании в течение 16 ч

Расчеты произведены как для периода промораживания, соответствующего снижению уровня воды до минимальной отметки, так и для периода оттаивания, соответствующего подъему воды до максимального уровня. Время, согласно принятому графику изменения температур (рис.5, б) для периода промораживания, принято  $t = 8$  ч, а для периода оттаивания  $t = 16$  ч. Начальное распределение температур по оси  $l$  условно принято равным нулю.

Из эпюр температур на рис.6 можно видеть, что:

изменением толщины изоляционного слоя из асфальтокерамзитобетона можно регулировать температуру в поверхностной зоне бетона в переменном горизонте воды в нужных направлениях;

температурные удары, вызванные колебанием горизонтов воды в течение суток, в зависимости от толщины теплоизоляции снижаются следующим образом: при  $\delta = 5$  см в 2 раза, при  $\delta = 10$  см в 6,5 раза, при  $\delta = 15$  см - в 20-30 раз, а при  $\delta = 20$  см не доходят до поверхности защищаемого бетона;

теплогидроизоляционный слой при толщине  $\delta = 5$  см и температуре ниже минус  $30^\circ\text{C}$  промораживается в течение  $t = 6$  ч настолько, что при последующем оттаивании в течение  $t = 16$  ч при  $T_{\text{II}} = 4^\circ\text{C}$  температура на контакте теплоизоляция-бетон сохраняется отрицательной, т.е. бетон в поверхностном слое находится в замороженном состоянии;

при толщине теплогидроизоляционного слоя  $\delta = 10$  см за время оттаивания  $t = 16$  ч температура на контакте теплоизоляция - бетон в зависимости от исходной температуры на внешней поверхности при промораживании за  $t = 8$  ч изменяется незначительно, процесс оттаивания заканчивается в гидроизоляционном слое;

при  $\delta = 15$  см за время промораживания  $t = 8$  ч температура на контакте практически не зависит от  $T_{\text{II}}$ , за время оттаивания  $t = 16$  ч процесс размораживания заканчивается практически уже при толщине  $\delta = 12$  см, и можно считать, что температура на поверхности бетона целиком определяется исходным температурным режимом бетонного блока в поверхностной зоне;

при  $\delta = 20$  см за время промораживания  $t = 8$  ч температура на контакте теплогидроизоляция-бетон при нулевых начальных условиях сохраняет свое значение и определяется тепловым состоянием поверхностного слоя бетона: за время оттаивания  $t = 16$  ч процесс размораживания заканчивается практически на половине толщины изоляционного слоя.

### Пример расчета ограждающего устройства в асфальтокерамзитобетонной теплогидроизоляции

Дано: Высота асфальтового теплогидроизоляционного экрана  $L=5$  м; толщина теплогидроизоляционного слоя  $\delta=20$  см, начальная температура изоляции  $T=0$  °С, реологические характеристики асфальтокерамзитобетона при расчетной температуре  $[\eta]=3,45 \cdot 10^{16}$  (Н/м<sup>2</sup>) <sup>$\beta$</sup>  с,  $\beta=4$ , плотность асфальтокерамзитобетона  $\rho=1,46 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент линейного расширения анкера и асфальтокерамзитобетона  $\alpha_a=12 \cdot 10^{-6}$  и  $\alpha_{акб}=10^{-6}$  1/град, температура на внешней поверхности слоя изоляции  $T_{II}=-60$  °С,  $E_{CT}=2 \cdot 10^5$  МПа.

Требуется: Рассчитать ограждающее устройство экрана.

Температура наружного воздуха  $T_B = T_{II} = -60$  °С устанавливается практически постоянной по всей длине анкера за время 0,5 ч. За это время анкер длиной 20 см сократится на величину  $\Delta L_a = 12 \cdot 10^{-6} \cdot 20 \cdot 60 = 14,4 \cdot 10^{-3}$  см, а относительное укорочение соответственно находим по (1):  $\varepsilon_a = 7,2 \cdot 10^{-4}$ .

За это время изоляция проморозится на 4 см (по расчету), и слой изоляции сократится на  $\Delta L_{II} = 3,86 \cdot 10^{-3}$  см, а относительное укорочение соответственно равно  $\varepsilon_{II} = 1,93 \cdot 10^{-4}$ .

Напряжение в анкере вычислим по (2):

$$\sigma_a = 2 \cdot 10^5 (7,20 - 1,93) \cdot 10^{-4} = 105,4 \text{ МПа.}$$

Определим максимальную скорость отставания деформирования анкера и изоляционного слоя по (3):

$$u_{отст} = \frac{14,4 \cdot 10^{-3} - 3,86 \cdot 10^{-3}}{30 \cdot 60} = 5,86 \cdot 10^{-6} \text{ см/с.}$$

Для того чтобы снять дополнительные температурные напряжения с анкера, необходима следующая расчетная скорость, определяемая по (4): для снятия 25% напряжения  $u_p = 1,5 \cdot 10^{-6}$  см/с, для снятия 50% -  $u_p = 3,0 \cdot 10^{-6}$  см/с и для снятия 75% -  $u_p = 4,5 \cdot 10^{-6}$  см/с. По этим расчетным скоростям по (6) определены давления на ограждающее устройство и построены их эпюры (рис.7). Для создания таких давлений, например при скорости  $u_p = 1,5 \cdot 10^{-6}$  см/с, необходимо следующее размещение анкеров и их поперечные сечения.

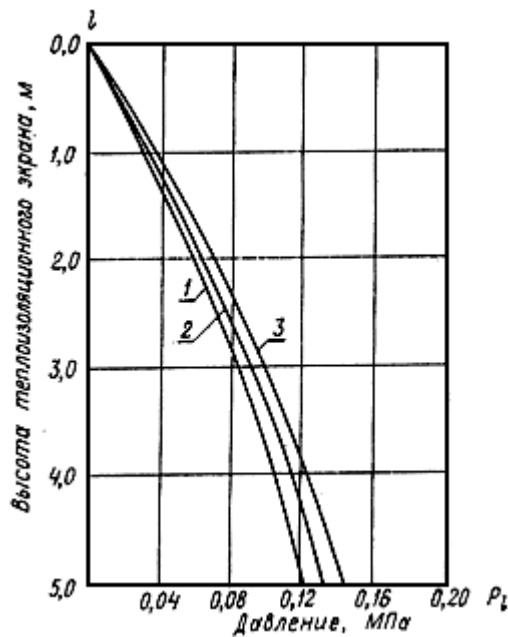


Рис.7. Эпюры давлений на ограждающее устройство при сужении теплоизоляционного экрана со скоростями

1 -  $1,5 \cdot 10^{-6}$  см/с; 2 -  $3,0 \cdot 10^{-6}$  см/с; 3 -  $4,5 \cdot 10^{-6}$  см/с.

При  $l = 5$  м (внизу)  $P_t = 0,12$  МПа. Например, при шаге  $50 \times 50$  см нагрузка на анкер составляет  $3 \cdot 10^4$  Н. С учетом цикличности нагрузки примем  $\sigma = 52,7$  МПа. Тогда площадь поперечного сечения анкера составит  $7,25$  см<sup>2</sup> и диаметр анкера  $\varnothing = 2,6$  см.

Аналогично можно задать шаг и определить диаметр анкера на любой заданной высоте ограждения.

### Расчет асфальтовых противофильтрационных экранов

При проектировании асфальтовых противофильтрационных экранов определяющим следует считать давление асфальтового материала изоляционного слоя на ограждающую стенку экрана. Это давление должно быть несколько выше (не менее  $0,01$  МПа) внешнего гидростатического давления воды.

Время нарастания нагрузки на ограждение асфальтового противофильтрационного экрана плотины (рис.8) от давления материала изоляционного слоя следует вычислять по следующим формулам:

для случая, когда наполнение водохранилища еще не произошло

$$t = kD \left[ (\rho g L \sin \alpha)^{1-\beta} - (\rho g L \sin \alpha - P_t)^{1-\beta} \right]; \quad (7)$$

для случая, когда водохранилище заполнено

$$t = kD \left[ (\rho' g L \sin \alpha)^{1-\beta} - (\rho g L \sin \alpha - P_t)^{1-\beta} \right]; \quad (8)$$

где

$$D = \frac{2^{2\beta} [\eta]^{2+\beta}}{3^\beta \alpha^{\beta+2} (1-\beta)} L^{\beta+1} \sin \alpha, \quad (9)$$

$L$  - длина экрана;  $\alpha$  - угол наклона экрана к горизонту;  $P_t$  - давление внутри экрана в момент времени  $t$ ;  $[\eta]$  - псевдовязкость, имеющая тот же физический смысл, что и динамическая вязкость и размерность, зависящую от  $\beta$ ;  $\beta$  - мера аномальности, безразмерная константа материала, характеризующая степень отклонения реологического состояния от истинно вязкого;  $\rho$  - плотность асфальтового материала;  $\rho'$  -

разность плотностей асфальтового материала и воды;  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\alpha$  - толщина изоляционного слоя;  $k = k_a + k_{ст}$  - коэффициент деформируемости ограждающего устройства;  $k_a$ ,  $k_{ст}$  - коэффициенты деформируемости анкеров и стенки, вычисляемые по формулам:

$$k_a = \frac{\Omega a}{E_a \omega} \text{ и } k_{ст} = \frac{\xi m^4}{3 E_{ст} h^3}, \quad (10)$$

где  $\Omega$  - площадь участка стенки, с которой передается нагрузка на анкер;  $\omega$  - площадь поперечного сечения анкера;  $h$  - толщина стенки;  $\xi$  - безразмерный коэффициент, значения которого при отношениях  $m/n$  приведены в табл.1;  $m$  - большее и  $n$  - меньшее расстояние между анкерами;  $E_a$  и  $E_{ст}$  - модули упругости соответственно материала анкера и стенки.

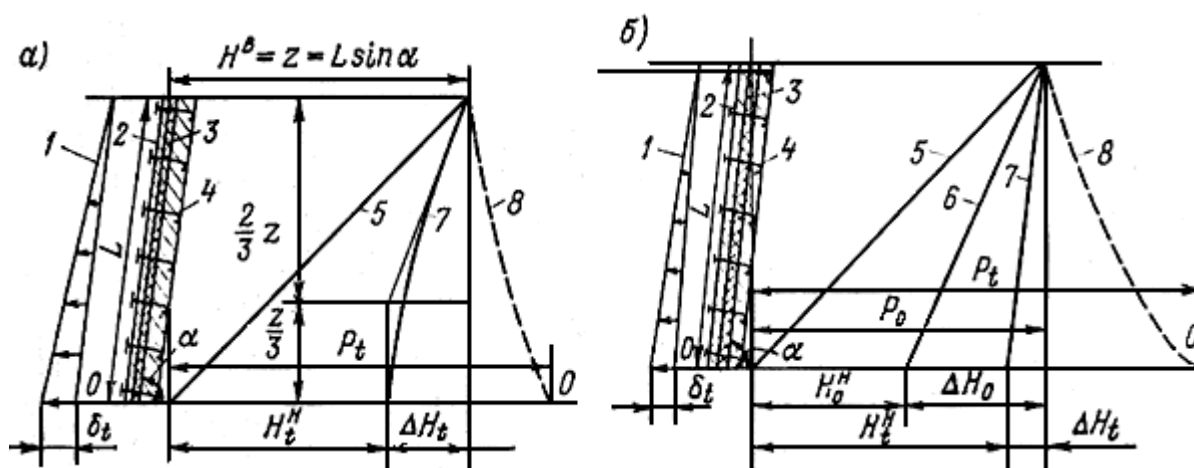


Рис.8. Расчетная схема экрана при определении нагрузки на ограждение

$\alpha$  - при незаполненном водохранилище;  $\beta$  - при заполненном водохранилище;  
 1 - эпюра перемещений ограждения; 2 - ограждающая стенка; 3 - слой асфальта; 4 - анкера;  
 5 - линия  $Z$ ; 6 - линия напора при  $t=0$ ; 7 - линия напора в момент времени  $t$ ; 8 - линия давления.

Таблица 1

Изменение коэффициента  $\xi$  в зависимости от отношения  $m/n$

$m/n$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	2,0	$\infty$
$\xi$	0,0634	0,0532	0,0467	0,0423	0,0391	0,0368	0,0319	0,0284

В табл.2 помещены вычисленные по (10) значения коэффициента деформируемости ограждающего устройства при различных диаметрах анкеров, различных толщинах стенок ограждения из стеклопластиката (1, 2 и 4 мм) и из железобетона (50, 100 и 200 мм) для экрана с изоляционным слоем толщиной 10 см и шагом анкеров 30x30, 60x60 и 100x100 см.

Таблица 2

Значение коэффициента деформативности ограждающего устройства  $k$   
 в зависимости от диаметра и шага анкеров и толщины стенок ограждения при  $\alpha = 10$  см

$h$ , мм	Коэффициент $k$ , $m^3/H$ при $d$ , мм					
	2	6	10	16	22	26



Шаг анкеров 30x30 см						
1	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$	$0,9 \cdot 10^{-5}$
2	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-6}$
4	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$
50	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$	$0,3 \cdot 10^{-9}$	$0,2 \cdot 10^{-9}$	$0,2 \cdot 10^{-9}$
100	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-8}$	$0,7 \cdot 10^{-8}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$	$0,1 \cdot 10^{-9}$	$0,9 \cdot 10^{-10}$
200	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,6 \cdot 10^{-9}$	$0,6 \cdot 10^{-9}$	$0,2 \cdot 10^{-9}$	$0,1 \cdot 10^{-9}$	$0,9 \cdot 10^{-10}$
Шаг анкеров 60x60 см						
1	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$
2	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$	$1,7 \cdot 10^{-5}$
4	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$	$2,2 \cdot 10^{-6}$
50	$4,1 \cdot 10^{-8}$	$7,4 \cdot 10^{-9}$	$3,4 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$1,4 \cdot 10^{-9}$
200	$4,0 \cdot 10^{-8}$	$6,4 \cdot 10^{-9}$	$2,9 \cdot 10^{-9}$	$0,9 \cdot 10^{-9}$	$0,5 \cdot 10^{-9}$	$0,3 \cdot 10^{-9}$
Шаг анкеров 100x100 см						
1	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$
2	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
4	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
50	$1,2 \cdot 10^{-7}$	$2,6 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-8}$	$1,1 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$	$1,0 \cdot 10^{-8}$
100	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,9 \cdot 10^{-8}$	$1,7 \cdot 10^{-9}$	$4,0 \cdot 10^{-9}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	$1,5 \cdot 10^{-9}$
200	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-9}$	$3,0 \cdot 10^{-9}$	$1,0 \cdot 10^{-9}$	$0,7 \cdot 10^{-9}$

В качестве материала для изоляционного слоя допускается асфальтокерамзитобетон следующего состава, в % по весу:

Керамзитовый гравий фракции 5-20 мм	25,0
Керамзитовый песок фракции 0-5 мм	20,5
Резиновая крошка	0,6
Порошкообразный минеральный наполнитель	36,5
Битум БНД-40/60	17,4

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ЛИНЕЙНОГО РАСШИРЕНИЯ ЗАМОРОЖЕННОГО ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО БЕТОНА, ИЗГОТОВЛЕННОГО НА ЗАПОЛНИТЕЛЯХ ИЗ ИЗВЕРЖЕННЫХ ПОРОД

При отсутствии экспериментальных данных значения коэффициента линейного расширения замороженного бетона  $\alpha'$  рекомендуется принимать по нижеприведенной таблице.

Марка бетона	Значения $\alpha'$ в интервале отрицательной температуры - -2 ÷ -12 °С, $\times 10^{-5}$ 1/град
М 100 В2	1,95
М 150 В2	1,8
М 200 МРЗ 200	1,6
М 250 МРЗ 250	1,55
М 300 МРЗ 300	1,45
М 400 МРЗ 400	1,25

При изменении температуры от минус 12° до минус 40 °С величина  $\alpha'$  пропорциональна температуре замораживания и при отсутствии экспериментальных данных может быть принята по следующим зависимостям: для бетона М 100-200

$$\alpha' = (2,90 - 0,22 \sqrt{R} + 0,0200 T) 10^{-5};$$

для бетона марки выше 200

$$\alpha' = (2,90 - 0,22 \sqrt{R} + 0,015 T) 10^{-5},$$

где  $R$  - марочная прочность, МПа;  $T$  - температура замораживания, °С.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЬДА

При отсутствии натуральных данных по прочностным характеристикам льда прочность морского и речного льда в устьях рек, впадающих в арктические моря, рекомендуется определять по формуле

$$R = 0,8k_1 \cdot k_2 \cdot R_1,$$

где  $R_1$  - прочностные характеристики льда в зависимости от солёности  $S$  и температуры  $T$ , определяемые по графикам, разработанным ААНИИ (рис.1-3);

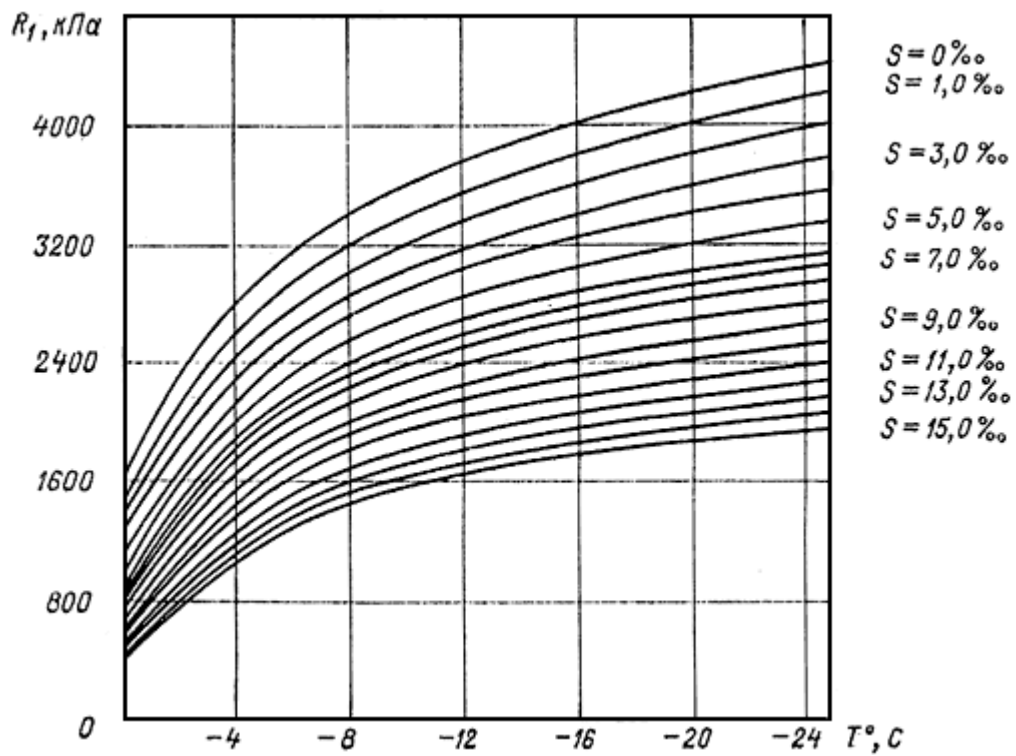


Рис.1. Зависимость прочности льда на сжатие от его температуры и солёности

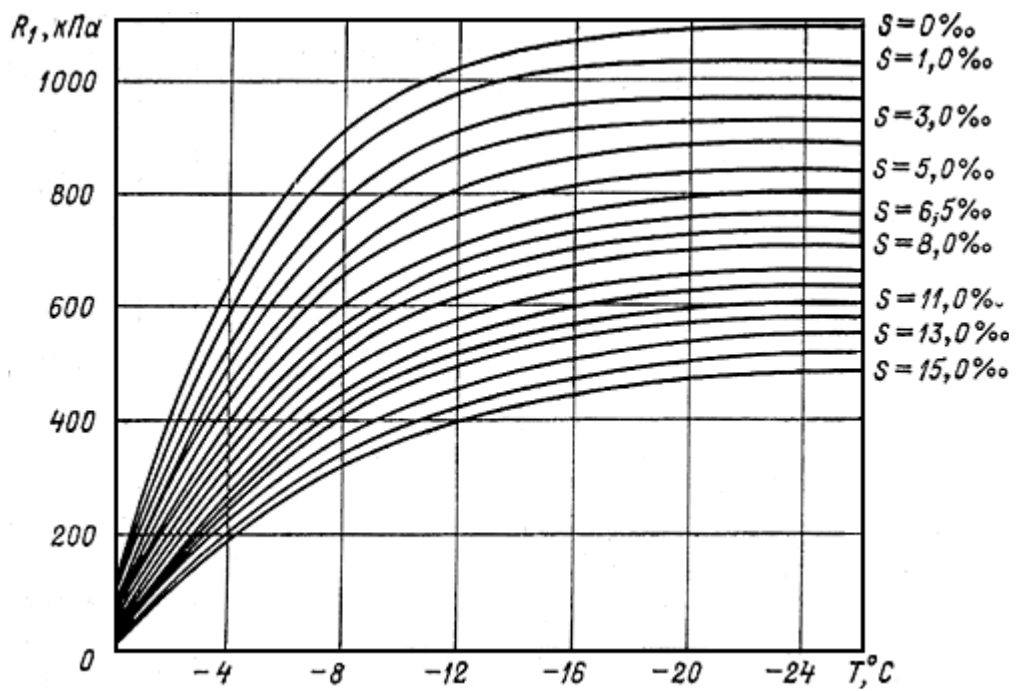


Рис.2. Зависимость прочности льда на срез от его температуры и солёности

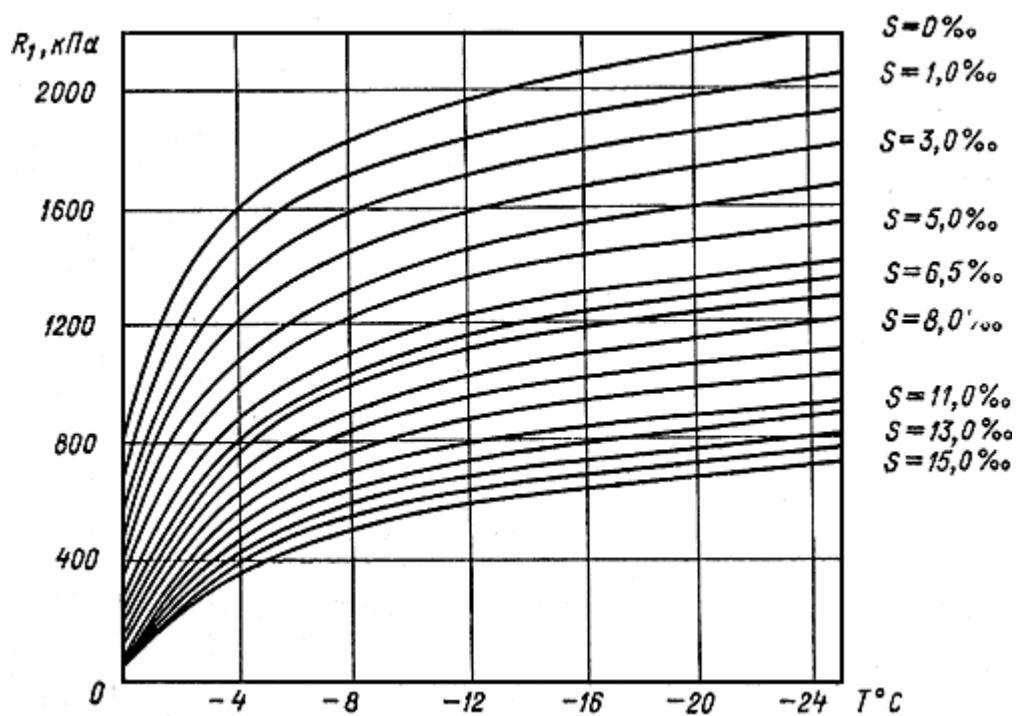


Рис.3. Зависимость прочности льда на изгиб от его температуры и солёности

$k_1$  - коэффициент, учитывающий структуру льда, определяемый по табл.1;

$k_2$  - коэффициент, учитывающий плотность льда и влияние приложения нагрузки, принимаемый по табл.2.

Таблица 1

Значение коэффициента  $k_1$

Структура льда	При изгибе	При сжатии	При срезе
Зернистая	0,5	0,5	1,0
Волокнистая	1,0	1,0	1,0
Крупноволокнистая	1,5	1,5	1,5

Таблица 2

Значение коэффициента  $k_2$

Приложение нагрузки	При изгибе	При сжатии	При срезе и ударе
Перпендикулярно поверхности замерзания	0,85	1,25	1,1
Параллельно поверхности замерзания	0,85	0,75	0,9

Приложение 7  
Рекомендательное

## ПРОЦЕСС ТЕРМОАБРАЗИОННОГО ПЕРЕФОРМИРОВАНИЯ

## БЕРЕГОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Термоабразионным переформированием берегов водохранилищ (термоабразией) называется процесс разрушения первичных склонов, сложенных многолетнемерзлыми рыхлыми отложениями в результате теплового и механического (волнового) воздействия водной массы и формирования собственно берегов водохранилища.

Многолетнемерзлые рыхлые отложения при механическом воздействии волнения ведут себя, как скальные породы. Их размыв волнами возможен после оттаивания. Тепловое воздействие водной массы водохранилища вызывает лишь изменение состояния пород, а их размыв и удаление материала происходит под действием волн, что определяет морфометрически характер преобразования первичных склонов - формирование прибрежной отмели.

Принципиально важным следствием теплового воздействия водной массы является возможность осадки многолетнемерзлых рыхлых отложений при их оттаивании, что также определяет специфику термоабразионного процесса по сравнению с нормальным абразионным процессом и является качественно новым элементом. Величина осадки при термоабразионном процессе определяется мощностью, льдистостью и величиной оттаивания многолетнемерзлых пород (ММП) ниже НПУ, так как породы надводного уступа разрушаются и удаляются волнением. Осадка отложений при их оттаивании препятствует при термоабразионном процессе достижению профиля и состояния динамического равновесия.

Единственным механизмом, в той или иной степени компенсирующим осадку и уменьшающим тепловое воздействие на ММП, является аккумуляция размываемого материала. При термоабразионном процессе при наличии просадочных ММП формирование аккумулятивной призм является необходимым условием для достижения профиля динамического равновесия, прекращения систематических размывов и относительной стабилизации берега.

Воздействие водной массы водохранилища в условиях криолитозоны, в отличие от абразионного процесса, происходит в пределах всего берегового склона от бытового уровня до НПУ.

Уровенный режим при термоабразионном процессе является распределителем как волновой, так и тепловой энергии. В связи с этим для термоабразионного процесса имеют значения не только колебания уровня в безледный период как для абразионного, но и общая величина годовой амплитуды колебаний уровня. Зональность теплового воздействия водной массы водохранилища в пределах формирующейся отмели и берегового склона в первую очередь определяется уровнем режимом водохранилища.

В областях сплошного развития ММП в общем случае, т.е. при наличии сработки водохранилища в безледный период, часть формирующейся прибрежной отмели выше уровня навигационной сработки (УНС) представляет собой область сезонного протаивания-промерзания. Основной фронт многолетнего протаивания находится ниже УНС. В областях островной многолетней мерзлоты с высокой температурой ММП, где создание водохранилищ может привести к микроклиматическим изменениям в прибрежной полосе водохранилища, вызывающим деградацию мерзлоты, не исключается развитие многолетнего протаивания в пределах формирующейся прибрежной отмели выше УНС, но при этом скорость продвижения фронта оттаивания здесь будет значительно меньше по сравнению с береговым склоном ниже УНС.

Основой прогнозирования процесса термоабразионного переформирования берегов является построение волнового профиля по способу прогнозирования процесса абразионного переформирования берегов в соответствии с литологическим составом отложений, предполагая их в талом состоянии.

Термоабразионные берега подразделяются по величине и характеру льдистости на две подгруппы: непросадочные и просадочные.

Для подгруппы непросадочных термоабразионных берегов полученные таким путем величины рассматриваются для мерзлых пород как предельные максимальные возможные на 10-летний период, и дальнейшее их уточнение сводится к анализу конкретных гидрологических и климатических условий, путем корреляции хода уровня, ветровой активности, сезонного оттаивания-промерзания. Эти уточнения в связи с уменьшением периода интенсивного протекания процесса размыва по сравнению с обычными условиями (6 мес.) заключаются в пропорциональном уменьшении полученной построением величины размыва.

Для подгруппы просадочных термоабразионных берегов после построения волнового профиля производится ориентировочная оценка оттаивания и осадки многолетнемерзлых рыхлых отложений (рисунок). Природной теплофизической моделью является развитие теплофизических процессов в бортах термокарстовых озер.

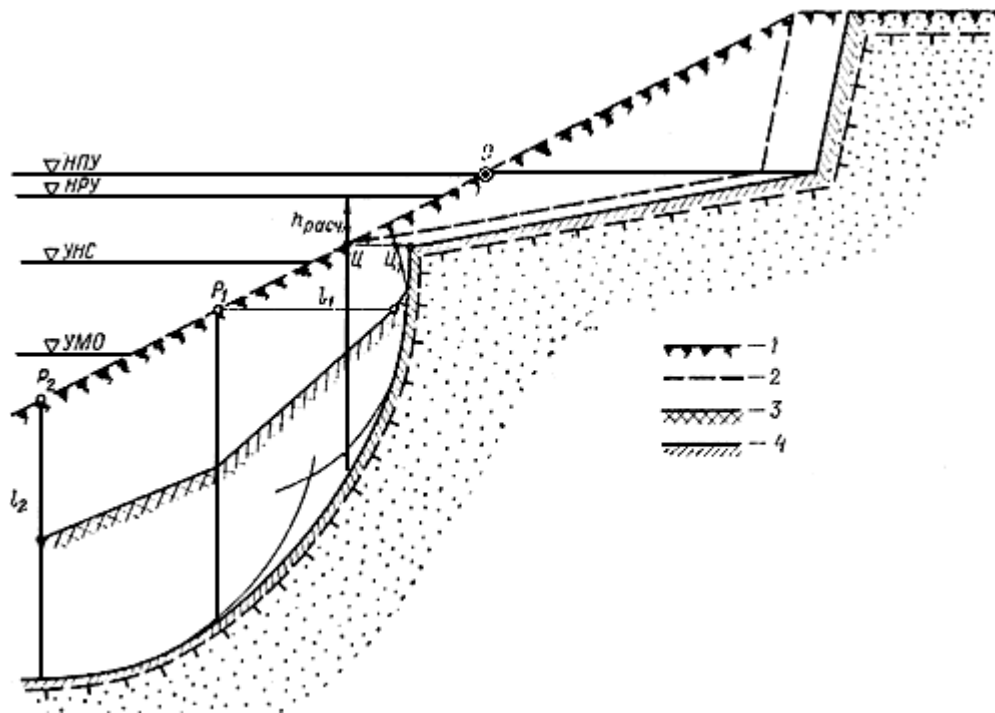


Схема построения профиля термоабразионного берега

1 - первоначальный склон; 2 - профиль абразионной врезки; 3 - поверхность после осадки; 4 - профиль термоабразионной врезки;  $P_1$ ,  $P_2$  - точка расчета многолетнего протаивания;  $\mathcal{C}$  - бровка цоколя абразионной врезки;  $\mathcal{C}_1$  - бровка цоколя термоабразионной врезки;  $O$  - точка первоначального уреза;  $h_{расч}$  - расчетная высота волны;  $l_1$ ,  $l_2$  - величина протаивания в расчетной точке;  $HPY$  - нижний расчетный уровень;  $УНС$  - уровень навигационной сработки.

На современном уровне представлений о процессе оценка оттаивания носит ориентировочный характер и может производиться по формуле Стефана:

$$L = \sqrt{\frac{2\lambda T t}{Q_{\phi}}},$$

где  $L$  - величина оттаивания или промерзания грунта, м;

$\lambda$  - теплопроводность талого или мерзлого грунта, Вт/м·град;

$T$  - средняя температура воды (воздуха), °С;

$t$  - продолжительность расчетных периодов, ч;

$Q_{\phi}$  - количество тепла, идущее на таяние льда и нагревание грунта (или промерзание грунта и воды), кДж.

Расчеты оттаивания производятся в двух точках: в середине интервала УНС-УМО и в точке УМО-1м на основе прогнозных данных по температурному режиму водохранилища. Из расчетных точек в пределах массива мерзлых пород проводятся дуги радиусом, равным полученной величине оттаивания; построением огибающей кривой определяется суммарная граница оттаивания и мощность протаявшей толщи. По СНиП II-18-76 определяется осадка и строится профиль поверхности в зоне оттаивания.

От полученного профиля как от исходного производится построение профиля термоабразионного берега путем параллельного переноса построенного ранее волнового профиля.

Величины отступления берега, получаемые по данному способу, являются предельными, максимально возможными.

Сопоставлением полученного объема размыва (содержание частиц более 0,05 мм) и объема осадки с учетом положения участка в геодинамической системе определяется возможность компенсации осадки аккумуляцией материала и уточняется развитие берега как стабилизирующегося.

Технологически прогнозирование термоабразионного процесса включает все операции по прогнозированию абразионного процесса и дополнительные расчеты по определению средней температуры воды за расчетный период, величины оттаивания, а также построение профиля поверхности в результате осадки.