

**АГЕНТСТВО МЕЖДУНАРОДНОГО ФОНДА
СПАСЕНИЯ АРАЛА**



Г.Н.КУЛЕШОВ

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ
И ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ**



Ташкент – 2009

В работе рассмотрены способы определения категорий опасности гидротехнических сооружений, выбора и назначения критериев безопасности, методы определения вероятности наступления отдельных событий, оценки уровня риска возникновения аварии, особенности разрушения ГТС, определение границ зоны затопления, а также основные положения по созданию систем раннего предупреждения и оповещения. Кроме того, рассмотрены вопросы обеспечения безопасности ГТС при разработке детальных проектов, при строительстве и эксплуатации ГТС. Сведения, содержащиеся в «рекомендациях», будут полезны проектировщикам, строителям, персоналу служб эксплуатации, работникам организаций, контролирующим безопасность ГТС и осуществляющих экспертизу деклараций безопасности.

Рецензенты:

М. Р. Бакиев – заведующий кафедрой «Строительство гидротехнических сооружений и инженерных конструкций» Ташкентского института ирригации и мелиорации (ТИИМ), доктор технических наук, профессор.

У. К. Буранов – инженер-гидротехник, руководитель Агентства Международного Фонда спасения Арала.

ВВЕДЕНИЕ

Существование людей и состояние среды их обитания во многом зависят от наличия ресурсов пресной воды. В природе водные ресурсы распространены не равномерно как по территории, так и по сезонам года. В половодье обилие воды часто приводит людей к необходимости защищаться от ее разрушительного воздействия. В межень расходы воды в источниках резко снижаются или они полностью пересыхают. Рост плотности населения, объемов сельскохозяйственного и промышленного производства приводит к увеличению объемов потребления водных ресурсов. Для использования и управления водными ресурсами, а также для защиты от разрушительного воздействия водных потоков, получило развитие строительство гидротехнических сооружений (далее ГТС). Вслед за развитием строительства ГТС стали наблюдаться опасные явления, связанные с дефектами создания и эксплуатации этих сооружений. В последнее столетие строительство ГТС достигло огромных масштабов, пропорционально возросла и потенциальная угроза от них.

Ранее считалось достаточным обеспечить безопасность ГТС во время разработки проектов и последующего строительства сооружений. Строительные нормы и правила (СНиП) и система ГОСТов рассматривают только вопросы обеспечения качества разработки проектов и возведения ГТС. Вопросы обеспечения безопасности ГТС в период эксплуатации в них отсутствуют. Тем не менее, аварии на ГТС происходят систематически, о чем свидетельствуют [11,23,25,26,32]. Причины возникновения аварийных ситуаций на ГТС кроются в дефектах разработки проектов, в выполнении строительных работ, а также в нарушении режимов эксплуатации сооружений. Во многих развитых странах мира, а в последнее время и в странах СНГ (Россия, Узбекистан), вопросы обеспечения безопасности ГТС возведены в ранг государственных: приняты законы «О безопасности ГТС», созданы и функционируют органы контроля технического состояния, ведется разработка норм, указаний и пособий, регламентирующих работу служб, обеспечивающих безопасность ГТС.

За последние десятилетия в странах бывшего СССР значительно изменились условия проектирования, строительства и эксплуатации ГТС.

- Сменился собственник на средства производства. Мощные государственные проектные, строительные и частично эксплуатационные организации прекратили свое существование. На их смену пришли акционерные и частные организации. Отбор Подрядчиков для выполнения проектных и строительно-монтажных работ стал производиться на основе тендерных торгов.

- Закрылась работа многих гидрометрических постов и метеостанций, лаборатории испытания строительных материалов, прекратился выпуск гидрологических ежегодников, СНиП и другой нормативно-технической литературы.

- Изменился состав детальных проектов (рабочих чертежей). В их состав включена разработка тендерной документации: общих и специальных технических условий на производство строительно-монтажных работ, ведомости объемов работ, заказные спецификации на материалы и оборудование для ГТС.

- Для потенциально-опасных ГТС к работам по изысканиям, исследованиям и принимаемым техническим решениям стали предъявляться дополнительные повышенные требования.

- В ряде стран принят Закон «О безопасности ГТС», в соответствии с которым в составе проекта, перед вводом ГТС в эксплуатацию и через каждые 5 лет в период эксплуатации, собственник ГТС обязан декларировать безопасность сооружения. Декларации безопасности ГТС должны проходить экспертизу и утверждение в исполнительных органах власти, контролирующей безопасность ГТС.

Проектные и эксплуатирующие организации стали испытывать дефицит нормативной и технической литературы по ГТС. Стали возникать проблемы с определением объемов изыскательских работ, качеством обоснования проектных решений и осуществлением экспертизы проектов. На ГТС, находящихся в эксплуатации, приходит в негодность и теряется проектная и исполнительная документация, возникают проблемы с их вос-

становлением. Для оценки безопасности ГТС, разработки проектов реконструкции или восстановительных работ появляется потребность повторного выполнения изыскательских работ. Поэтому в данную работу включены краткие сведения о необходимых объемах изысканий и требуемых материалах проекта, о дополнительных исследованиях и отчетных материалах, которые должны составляться в период строительства ГТС, а также о объемах исследований в эксплуатационный период.

Безопасность ГТС не возможно измерить, но можно оценить уровень вероятности возникновения аварии методами математической статистики и теории вероятностей, используя материалы проекта, результаты строительно-монтажных работ и опыта эксплуатации, данные натурных наблюдений в строительный и эксплуатационный периоды.

В данной работе приведены основные понятия безопасности, методики определения критериев безопасности и оценки уровня риска аварии ГТС, его допустимого уровня. Даны основные положения разработки системы раннего предупреждения и оповещения, а также порядка взаимодействия персонала службы эксплуатации в аварийных ситуациях. В работу включены дополнительные требования по обеспечению безопасности ГТС при разработке детальных проектов, а также в период их строительства и эксплуатации.

При разработке «Рекомендаций» учтены требования действующих норм, опыт работы отдела натурных наблюдений Объединения Водпроект при Минсельводхозе республики Узбекистан, Диагностического центра Госинспекции «Госводхознадзор» Узбекистана, а также результаты оценки безопасности некоторых плотин Узбекистана LAWGIBB Group Member Исполнительного комитета МФСА Агентства проекта GEF в составе «Программ бассейна Аральского моря», а также научных разработок автора.

Вопросы, замечания и предложения, которые могут появиться при работе с «рекомендациями», просим направлять на Email: kulgennik.35@mail.ru.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.

1.1 Назначение ГТС, определение категории их опасности.

1.1.1 ГТС – сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов или борьбы с разрушительным действием водных потоков. Эти сооружения постоянно находятся под воздействием водной среды и других природных явлений. В зависимости от места расположения они могут быть морскими, речными, озерными. По своему назначению делятся на : водноэнергетические, мелиоративные, воднотранспортные и др. По функциональным особенностям: водоподпорные, водозаборные, водосбросные, водопроводящие, выправительные и специальные (ГЭС, НС). Когда эти сооружения объединяются в один комплекс, выполняющий несколько функций одновременно, их называют гидроузлами или водохозяйственными, энергетическими, мелиоративными, транспортными и т.д. системами [4].

1.1.2 Не все ГТС обладают потенциальной опасностью. Зависит это от объема воды, который при прорыве напорного фронта, превращается в водный поток, несущий разрушения. Опасность ГТС зависит также от напора воды на сооружении в месте его возможного разрушения. Чем больше напор, тем большей кинетической энергией будет обладать поток после разрушения сооружения. Чем выше плотность населения и количество объектов народного хозяйства, попадающих в зону затопления, тем выше размеры ущерба, который будет иметь место после разрушения ГТС.

Объем воды, создающий угрозу затопления, определяется для водохранилищ емкостью его чаши, для каналов- габаритами его русла, для речных гидроузлов- объемом стока расчетного паводка. Напор воды для плотин, каналов и русел рек определяется высотой насыпи плотин или дамб, ограждающих русла каналов и рек. Для ГЭС и насосных станций – разностью отметок уровня воды в напорном бассейне и местом возможного разрушения напорного трубопровода или здания (ГЭС, НС). Границы зоны затопления зависят от величины максимального расхода

воды волны прорыва и гидравлических характеристик поверхности территории, по которой будет двигаться поток воды.

Согласно рекомендаций «Конгресса по Большим плотинам»[16] опасность, исходящую от ГТС можно разделить на 4-е категории в соответствии с данными таблицы 1.

Таблица 1

№ п/п	Показатели	Единицы измерения	Количественные показатели			
			≥ 120	$\frac{120-1}{4}$	$\frac{1-0.1}{2}$	$\frac{\leq 0.1}{0}$
1	Объем воды	$\frac{\text{млн.м}^3}{\text{балл}}$	$\frac{\geq 120}{6}$	$\frac{120-1}{4}$	$\frac{1-0.1}{2}$	$\frac{\leq 0.1}{0}$
2	Напор воды	$\frac{\text{м}}{\text{балл}}$	$\frac{\geq 45}{6}$	$\frac{45-30}{4}$	$\frac{30-15}{2}$	$\frac{\leq 15}{0}$
3	Величина ущерба	$\frac{\text{млн.дол.США}}{\text{балл}}$	$\frac{\geq 100}{12}$	$\frac{100-10}{8}$	$\frac{10-1}{4}$	$\frac{\leq 1}{0}$
4	Число людей в зоне	$\frac{\text{чел.}}{\text{балл}}$	$\frac{\geq 1000}{12}$	$\frac{1000-100}{8}$	$\frac{100-1}{4}$	$\frac{-}{0}$

Суммарное количество баллов	Категория опасности ГТС	Класс ГТС, не ниже
36-31	I	1
30-19	II	2
18-7	III	3
6-0	IV	4

К ГТС, относящимся к 1-ой категории опасности, должны предъявляться требования как к сооружениям 1-го класса. Кроме того, к 1-ой категории опасности относятся ГТС, последствия аварий которых распространяются на территории сопредельных государств, а также ГТС, расположенные на одном водотоке каскадом, когда авария на одном ГТС может создать аварийную ситуацию на другом ниже расположенном ГТС. В состав каскадов следует включать и горные озера, имеющие недостаточно надежный напорный фронт.

ГТС, имеющие более высокий класс, чем категория опасности, класс сооружения сохраняется. Для сооружений, у которых класс ниже, чем категория опасности, класс капитальности следует уровнять с категорией опасности.

С вводом в действие МСН 3.04-01-2005 [21] класс основных сооружений назначается по 4-6 показателям в зависимости от высоты ГТС, типа грунтов основания, площади орошения, от их социально-экономической ответственности и условий эксплуатации, а также от последствий возможных гидродинамических аварий. Категория опасности приравнена к классу сооружения. Требования к разработке проекта, строительства и эксплуатации сооружений, класс которых назначен по одному из признаков (например, по высоте плотины) и других, класс которых назначен одновременно по 4-6 признакам, будут одинаковыми, что не логично. Рекомендуется дополнительно ввести различия по категории опасности (см. таблицу 2) по аналогии с таблицей 1.

Таблица 2

Показатели	Единицы изм.	Численные значения			
		>1.0	1-0.2	0.2-0.05	<0.05
Объем воды	$\frac{\text{км}^3}{\text{балл}}$	(6)	(4)	(2)	(0)
Напор воды	$\frac{\text{м}}{\text{балл}}$	(6)	(4)	(2)	(0)
Геологические условия	$\frac{\text{прим}}{\text{балл}}$	Н (12)	В (8)	Б (4)	А (0)
Число людей в зоне	$\frac{\text{чел}}{\text{балл}}$	>3.000 (12)	3.000-500 (8)	500-1 (4)	- (0)
ущерб	$\frac{\text{млнПРОТ}}{\text{балл}}$	>50 (12)	50-10 (8)	10-1 (4)	<1 (0)

Примечание: Грунты: А – скальные монолитные, Б – песчаные, крупно-обломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии, В – глинистые водонасыщенные в пластическом состоянии, Н – просадочные, набухающие, мелкозернистые, илистые, скальные сильнотрещиноватые с неустойчивым к механической или химической суффозии заполнителями трещин, скальные – пораженные карстом.

Суммарное количество баллов	Категория опасности ГТС	Класс ГТС, не ниже
48-36	I	1
35-24	II	2
23-12	III	3
< 12	IV	4

1.2 Основные понятия безопасности ГТС [9,12].

Безопасность ГТС – состояние сооружения, позволяющее обеспечить защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.

Авария ГТС – повреждение или разрушение ГТС, сопровождаемое неконтролируемым сбросом воды или жидких стоков из хранилищ (последнее не рассматривается в данной работе).

Чрезвычайная ситуация – обстановка в зоне возможного затопления, сложившаяся в результате аварии на ГТС, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей, ущерб окружающей природной среде, материальные потери, нарушение жизнедеятельности людей

Уровень риска аварии ГТС – показатель общей опасности, характеризующий уровень вероятности возникновения аварии на ГТС под действием внешних факторов. Допустимый уровень риска аварии это утвержденный в установленном порядке органами исполнительной власти минимально допустимая величина показателя общей опасности ГТС.

Оценка риска аварии выполняется на основе анализа показателей состояния сооружений.

Контролируемые показатели ГТС – визуально или инструментально измеренные (качественные или количественные) характеристики состояния сооружения.

Диагностические показатели ГТС – наиболее значимые для диагностики и оценки состояния ГТС контролируемые показатели, позволяющие дать оценку безопасности системы «сооружение-основание» в целом или отдельных элементов ГТС.

Критерии безопасности ГТС – предельные значения количественных и качественных показателей состояния ГТС и усло-

вий их эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии, утвержденные в установленном порядке органами исполнительной власти, осуществляющими государственный контроль за безопасностью ГТС.

Критерии состояния ГТС –

К₁ – первый (предупредительный) уровень значений диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность грунтов тела ГТС и его основания, а также пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений еще соответствует условиям нормальной эксплуатации.

К₂ – второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима.

Эксплуатационные состояния ГТС –

Нормальное – состояние ГТС, при котором сооружение соответствует всем требованиям нормативных документов и проекта, а значения всех диагностических показателей состояния ГТС не превышают своих критериальных (предупредительных) значений (**К₁**).

Потенциально опасное состояние, при котором значения хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) своего первого (предупредительного) уровня критериальных значений (**К₁**) или вышло за пределы прогнозируемого при данном сочетании нагрузок интервала значений. Потенциально опасное состояние сооружения не отвечает нормативным требованиям, но эксплуатация ГТС не приводит к угрозе немедленного прорыва напорного фронта и сооружение может ограниченное время эксплуатироваться. В это время следует проверить достоверность результатов измерений и вычислений, а также обоснованность принятого значения **К₁**.

Предаварийное состояние, при котором значения хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) второго (предельного) уровня критериальных значений **К₂**. В этом случае эксплуатация сооружения в проектных режимах недопустима до проведения мероприятий по восстановлению

требуемого уровня безопасности и без специального разрешения органов надзора.

1.3 Выбор контролируемых и диагностических показателей ГТС.

1.3.1 В период разработки проектов выполняется комплекс расчетов и исследований, состав и детальность которых зависит от типа сооружения, класса его капитальности и природных условий места расположения ГТС. Расчетами определяются наличие водных ресурсов, величины расходов воды, объемы стока паводков, требуемые емкости (мертвого и полезного объемов, объем трансформации паводков), расчетные уровни воды в верхнем и нижнем бьефах. Определяются физико-механические свойства грунтов оснований и строительных материалов. Назначается состав сооружений гидроузла, определяются типы и габариты сооружений, выбираются противофильтрационные мероприятия, необходимые для обеспечения фильтрационной прочности грунтов тела и основания ГТС. Выполняются расчеты на различные сочетания нагрузок и воздействий, проверяются на прочность и устойчивость сооружения в целом, отдельные его конструкции и узлы, определяются величины деформаций сооружений и их оснований.

В результате для каждого ГТС имеется подробный перечень нагрузок и воздействий и наиболее неблагоприятные их сочетания, на которые рассчитаны сооружения, соответствующий им перечень предельно-допустимых расчетных показателей состояния сооружения, их характеристики и величины [31]. Примерный общий перечень контролируемых количественных и качественных показателей ГТС, а также перечни показателей для отдельных видов ГТС, приведены в приложении 1.

1.3.2 Контролируемыми количественными показателями состояния ГТС могут быть только такие показатели, которые можно либо измерить, либо вычислить, используя измерения других количественных характеристик на данном сооружении. Поэтому для контроля технического состояния ГТС в проектах

сооружений 1-3 классов предусматривается размещение и установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). Проект КИА призван обеспечить получение в необходимом объеме информации о состоянии ГТС в период его строительства и эксплуатации. Требования к размещению КИА в сооружениях приведены в п. 2.5.3.

1.3.3 Натурные наблюдения за контролируемыми показателями выполняются, как правило, при постоянно изменяющихся (по величине и сочетаниям) нагрузках и воздействиях на сооружения. Поэтому данные наблюдений всегда имеют переменные величины, редко достигают своих предельных значений. Задача Инженера, ведущего натурные наблюдения за состоянием ГТС, выявить факторы, которые влияют на изменения значений контролируемого показателя, и установить статистическую зависимость (разработать математическую модель) между значениями показателя и факторами, влияющими на его изменчивость. Статистические зависимости устанавливаются при наличии предварительного временного ряда измерений в диапазоне воздействий, ранее испытанных сооружением. Из временного ряда измерений формируется база данных. Затем выбирается прогнозируемая функция, которая может представлять собой парную или множественную корреляцию. Методом наименьших квадратов определяются коэффициенты уравнения. Для множественной корреляции оценивается значимость каждого фактора. Мало-значимые факторы исключаются. Определяется погрешность установленной зависимости.

Построенная таким методом статистическая модель проверяется на данных последующих измерений и используется для прогноза (максимальных или минимальных) предельных значений контролируемого показателя, то есть для диагностики состояния сооружения. Если разница величины контролируемого показателя, измеренного с использованием технических средств и вычисленного по статистической модели, укладываются в пределы допустимой погрешности, состояние сооружения следует считать стабильным. Если погрешность выходит за допустимые пределы, это значит, что имеет место воздействие допол-

нительных факторов, влияние которых необходимо учесть и откорректировать ранее принятую статистическую зависимость. Накопление данных по изменяющейся статистической зависимости, позволит установить закономерности этих изменений и факторы, под влиянием которых они происходят.

Для построения статистических зависимостей обычно используется ЭВМ. В тех случаях, когда такая возможность отсутствует, можно выполнить необходимые расчеты, по методике, изложенной в приложении 2, используя, обычный калькулятор.

1.3.4 Не все контролируемые показатели могут использоваться для диагностики состояния ГТС, а только те, которые имеют наибольшую значимость и позволяют дать оценку безопасности системы «сооружение-основание» в целом. Значимость того или иного показателя устанавливается в процессе наблюдений, анализа данных, выполнения повторных расчетов в условиях фактического сочетания нагрузок и сравнения результатов с проектом. Если измеряемые значения показателя не достигают предельных величин, установленных проектом, и имеется значительный запас несущей способности конструкции, кроме того, результаты наблюдений имеют небольшую изменчивость, данный показатель может временно не использоваться для диагностики состояния ГТС. Например, данные наблюдений за напряжениями в бетоне и арматуре массивных бетонных конструкций, за раскрытием межблочных швов в бетоне и другие. И наоборот, когда результаты расчетов с использованием данных наблюдений показывают на то, что несущая способность ГТС находится на пределе, этому показателю должно быть уделено особое внимание и установлены его критериальные значения (K_1 и K_2).

1.4 Определения критериев безопасности ГТС.

1.4.1 Согласно [21,37] ГТС должны рассчитываться на воздействие основных и особых сочетаний нагрузок. Сочетания включают постоянные и временные (длительные и кратковременные) нагрузки и воздействия. Общий их перечень состоит из

25 различных видов нагрузок и воздействий, из них 16 основных и 9 особых.

Нагрузки и воздействия влияют на прочность и устойчивость (несущую способность) ГТС, фильтрационную прочность грунтов тела ГТС и оснований, на деформации ГТС и их оснований. Кроме того, ГТС может быть повреждено или разрушено при переливе воды через гребень плотин и дамб по причине недостаточной пропускной способности водопропускных сооружений и каналов, или недостаточного запаса гребня ГТС над горизонтами воды.

Проектное обоснование несущей способности ГТС и их оснований должно выполняться обеспечением условий недопущения предельных состояний. Усилия, деформации и другие показатели от обобщенного внешнего силового воздействия (**F**) не должны превышать значений обобщенной несущей способности ГТС (**R**), то есть всегда должно соблюдаться неравенство, выраженное уравнением (1).

$$\gamma_{lc} * \gamma_n * F \leq R, \quad (1)$$

где γ_{lc} , γ_n – коэффициенты соответственно сочетания нагрузок и надежности.

Неравенство (1) можно преобразовать в уравнение (2) и (3):

$$k_{зап} = \gamma_{lc} * \gamma_n \leq \frac{R}{F} \quad (2)$$

$$S = R - \gamma_{lc} * \gamma_n * F, \quad (3)$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса, **S** – резерв «прочности».

В СНиП предусмотрено два предельных состояния:

- полная непригодность ГТС к эксплуатации (1-я группа состояний)
- непригодность ГТС к нормальной эксплуатации (2-я группа состояний).

Основные расчетные положения ГТС на нагрузки и воздействия, заложенные в СНиП, не согласуются с требованиями обеспечения их безопасности, затрудняют определение вида эксплуатационного состояния ГТС и его критериев (**K₁** и **K₂**).

1.4.2 При расчете ГТС по предельным состояниям 1-ой группы коэффициент надежности изменяется от 1.1-1.25 в зави-

симости от класса ГТС, коэффициент сочетания нагрузок γ_c при расчете на основные нагрузки (в период нормальной эксплуатации) принят равным -1.0, тоже для периода строительства – 0.95, для особого сочетания нагрузок – 0.90.

1.4.3 При расчете ГТС по предельным состоянием 2-й группы коэффициенты γ_n и γ_c независимо от класса сооружения и сочетания нагрузок принимаются равными единицы. К этой группе относятся: расчеты оснований на местную прочность, расчеты по ограничению перемещений и деформаций, образованию и раскрытию строительных швов и трещин, расчеты нарушения местной фильтрационной прочности или прочности отдельных элементов конструкций, не рассчитываемых по предельным состоянием 1-ой группы. При выполнении расчетов по предельным состоянием 2-ой группы используются нормативные значения показателей прочности грунтов оснований и строительных материалов (в отличии от расчетов для 1-ой группы, где используются расчетные значения показателей). В связи с чем значения K_1 всегда будут больше значений K_2 , что не логично и для оценки безопасности ГТС неприемлемо.

2-е предельное состояние – непригодность к нормальной эксплуатации не распространяется на расчеты общей прочности и устойчивости системы «сооружение-основание» и в соответствии с указаниями пункта 5.3.2 [21] не обеспечивает оценку надежности ГТС.

1.4.4 Для 1-го предельного состояния – полной непригодности сооружений, их конструкций и оснований к эксплуатации коэффициент сочетания нагрузок γ_c для основного сочетания нагрузок и воздействий распространен на период нормальной эксплуатации. Такое двойственное назначение коэффициента сочетания нагрузок γ_c затрудняет определение критериев безопасности и оценку состояния сооружения. Возникает вопрос: может ли вообще ГТС при действии основного сочетания нагрузок находиться в предаварийном состоянии? Если да, то при не соблюдении неравенства (1) сооружение из состояния нормальной эксплуатации, минуя потенциально опасное, автоматически должно переходить в предаварийное состояние. Как в период

эксплуатации определять, в каком состоянии находится сооружение? Такое требование СНиП приводит к необходимости в обязательном порядке предусматривать установку КИА с дистанционным автоматизированным управлением, что не всегда оправдано. Величины критериев безопасности ГТС назначаются только после получения в необходимом объеме результатов натурных наблюдений

В составе 1-го предельного состояния ссылку на распространение коэффициента сочетания нагрузок для основного сочетания нагрузок и воздействий на период нормальной эксплуатации необходимо исключить. Предусмотренные СНиП коэффициенты сочетания распространить только на 1-е предельное состояние, а для 2-го предельного состояния следует принять другие значения коэффициентов.

Рекомендуется при оценке несущей способности системы «сооружение-основание» на пригодность к нормальным условиям эксплуатации расчеты выполнять также как для предельных состояний 1-ой группы, но величины коэффициента сочетания нагрузок принять равными для основного сочетания нагрузок – 1.05, тоже для периода строительства и ремонтов – 1.0, тоже для особого сочетания нагрузок – 0.95 (землетрясения с годовой вероятностью 0.01 следуют отнести к периоду нормальной эксплуатации). Такой подход позволит уже при разработке проектов обоснованно подходить к назначению критериев безопасности, как для предаварийного состояния ГТС (K_2), так и для потенциально опасного (K_1).

1.4.5 Критерии безопасности любого ГТС до своего первого утверждения должны пройти три этапа формирования.

Первый этап – детальный проект (рабочие чертежи). На этом этапе перечень контролируемых показателей определяется на основании расчетов, выполненных в соответствии с пунктами 1.3.1, 1.4.4 и 2 «рекомендаций». Кроме того, выбираются средства контроля (КИА), определяются места установки приборов, предельно-допустимые значения показателей.

Второй этап – строительство ГТС. В этот период составляется исполнительная геологическая документация основания,

уточняются количество и местоположение контрольных сечений, состав и размещение КИА, уточняются фактические физико-механические и фильтрационные свойства грунтов оснований и строительных материалов, из которых возведено ГТС. После получения новых данных о грунтах основания и строительных материалов тела ГТС, повторяются расчеты прочности и устойчивости ГТС, деформаций (осадок) ГТС и их оснований.

Третий этап – период временной и первый пятилетний период постоянной эксплуатации ГТС. На этом этапе, используя результаты натурных наблюдений и оценки фактической пропускной способности водопропускных сооружений, устанавливаются статистические зависимости между контролируемыми показателями и факторами, которые оказывают на их влияние, формируется перечень диагностических показателей, определяются критериальные значения показателей, которые затем включаются в декларацию безопасности ГТС и утверждаются в установленном порядке. В качестве примера в приложении 3 приведена ведомость критериев безопасности и классификация аварийных ситуаций для гидроузла состоящего из грунтовой плотины, водопропускного сооружения с водоводом, проложенным под плотиной.

Разработанные и утвержденные таким образом критерии безопасности K_1 и K_2 в период дальнейшей эксплуатации уточняются через каждые 5 лет по мере накопления данных натурных наблюдений и корректировке статистических зависимостей.

1.4.6 На ГТС, которые находятся в эксплуатации длительное время и на которых утеряны техническая документация по проекту и исполнительная документация за период строительства, для определения критериев безопасности необходимо выполнять комплекс исследований в соответствии с требованиями пункта 2.2, 2.3 и 2.4. Выполнить обмерные и топографические работы для составления общих чертежей сооружений, ультразвуковые испытания бетонных конструкций для определения прочности бетона и схемы расположения арматуры. Используя результаты изысканий и исследований, необходимо повторить полный комплекс расчетов, выбрать контролируемые показате-

ли и определить их предельно-допустимые значения. После чего, используя материалы натурных наблюдений, установить статистические зависимости, определить состав диагностических показателей и их критериальные значения.

1.5 Оценка уровня риска аварии ГТС.

1.5.1 Теоремы теории вероятностей и законы распределения случайных величин [10,20,23,35].

Для оценки уровня риска аварии ГТС используются основные теоремы теории вероятностей и законы распределения случайных величин.

Теорема умножения вероятностей: вероятность произведения совместимых независимых событий равна произведению вероятностей.

$$P(A,B) = P(A) * P(B), \text{ в общем виде } P(\prod_{i=1}^n A_i) = \prod_{i=1}^n P(A_i) \quad (4)$$

Теорема сложения вероятностей: вероятность суммы несовместимых событий равна сумме вероятностей этих событий.

$$P(A+B) = P(A)+P(B), \text{ в общем виде } P(\sum_{i=1}^n A_i) = \sum_{i=1}^n P(A_i) \quad (5)$$

События называются несовместимыми, если при испытании появление одного из них исключает возможность появления другого, и наоборот, события считаются совместимыми, если появление одного из них не исключает возможность появления другого.

Закон распределения случайной величины: интеграл в бесконечных пределах от плотности распределения равен единицы.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx=1 \quad (6)$$

Вероятность события (отказа) равна

$$Q=1- \int_{-\infty}^x f(x)dx$$

Использование этих теорем (законов) для оценки уровня риска аварии покажем на примере.

Имеем заданными расчетные уровни воды в водохранилище МПУ- вероятностью 0.001 и НПУ- 0.999, высота наката волны (h_v) определена при скорости ветра вероятностью при МПУ- 0.2 и при НПУ- 0.02 (20 и 2% соответственно). Запас гребня плотины над волной (a) при МПУ обеспечен в 99%, при НПУ- 0.95% случаях. Необходимо определить вероятность перелива воды через гребень плотины для этих двух случаев. Результаты расчета показаны на рис. 1.

Общая вероятность перелива воды через гребень плотины при НПУ и МПУ равна- 0.000992.

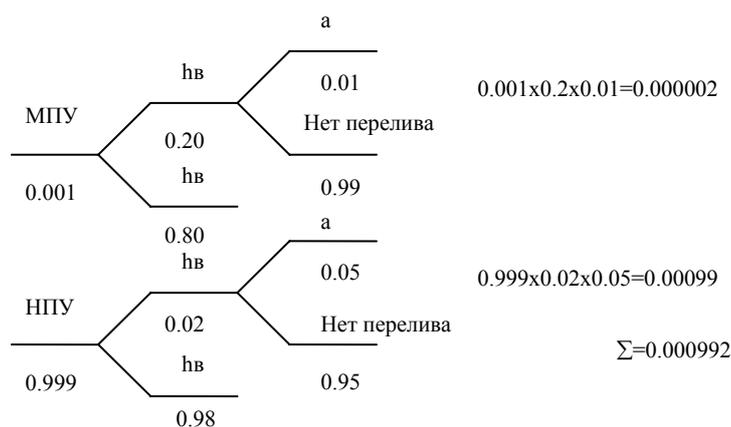


Рис. 1.

1.5.2 Оценка вероятности возникновения аварии ГТС.

Оценка вероятности возникновения аварии осуществляется в следующем порядке:

1.5.2.1 Определяются возможные причины разрушения ГТС.

ГТС может быть разрушено в результате потери несущей способности, снижения фильтрационной прочности грунтов те-

ла и основания, недостаточной пропускной способности водопропускных сооружений. Кроме того, сооружение может перейти в предаварийное состояние при снижении местной прочности грунтов оснований, получения недопустимых перемещений и деформаций, раскрытия швов и трещин, потери прочности отдельных узлов и элементов, потери местной фильтрационной прочности грунтов.

По данным перечней контролируемых показателей для отдельных видов ГТС (см. приложение 1) можно констатировать, что контролируемые показатели сооружения можно распределить между тремя основными группами причин (расчетов), которые определяют: несущую способность ГТС, фильтрационную прочность грунтов тела и основания и условия пропуска расходов воды через сооружения гидроузла. Контролируемые показатели, полученные в результате расчетов ГТС по деформациям и другим дополнительным видам расчетов, следует включить в одну из перечисленных выше групп расчетов по их принадлежности. Деформации бетонных конструкций тесно связаны с оценкой несущей способности этих ГТС. Деформации (осадки) земляных водоподпорных ГТС определяют возможность перелива воды через гребень этих сооружений. Локальные деформации земляных сооружений указывают на возможность проявления суффозионных процессов и снижения фильтрационной (как общей, так и местной) прочности грунтов сооружения и основания.

1.5.2.2 Рассматриваются возможные сценарии возникновения аварийных ситуаций по каждой группе причин (расчетов) и создается «древо событий».

Сценарии возможных аварий это перечень действующих факторов (событий), совместное воздействие которых на ГТС способно привести его в предаварийное и аварийное состояние. События, входящие в состав сценария, должны быть реальными, совместимыми и характеризовать с одной стороны состав и сочетание нагрузок, с другой реакцию ГТС на их воздействия. Для оценки реакции сооружения на воздействие факторов необходимо учитывать изменчивость прочностных и деформационных

свойств грунтов тела и основания ГТС, а также бетона бетонных сооружений. Если одно из событий входит в состав нескольких сценариев, образуется узел событий. Сумма вероятностей событий, образующих узел, в соответствии с законом распределения случайных величин (6) должна быть равна 1.

ГТС работают при постоянных колебаниях уровня воды в верхнем бьефе, и большая часть нагрузок тесно связаны и положением УВБ. Это гидростатическое и фильтрационное давления, положение депрессионной поверхности, расходы и градиенты напора фильтрации. Положение уровня воды в верхнем бьефе оказывает влияние на величину избыточного порового давления, на температурный режим бетонных сооружений (при снижении УВБ усиливается влияние температуры наружного воздуха) и на сейсмостойкость ГТС (при снижении УВБ повышается сейсмостойкость ГТС). Вероятность возникновения событий, зависящих от положения УВБ, всегда будет меньше «1». Она должна быть либо заданной, либо должна определяться специальными расчетами.

Часть нагрузок не зависят от положения УВБ это собственный вес бетонных ГТС, взвешивающее давление, давление отложившихся наносов. Их вероятность воздействий всегда постоянна и равна «1».

I. Сценарии возникновения аварийных ситуаций при потере несущей способности ГТС.

- Водоподпорные ГТС из грунтовых материалов.

В соответствии с [42] в первую очередь анализируется возможность снижения несущей способности ГТС при НПУ, МПУ и сейсмическом воздействии, а также возможность потери устойчивости верхового откоса при быстром снижении УВБ. Оценка устойчивости откосов грунтовых сооружений выполняется путем вычисления коэффициентов запаса с использованием данных лабораторных исследований прочностных показателей грунтов и их изменчивости.

При выполнении расчетов устойчивости откосов необходимо учитывать, что из-за постоянного изменения горизонтов воды в верхнем бьефе, в грунтовых ГТС наблюдается неустановившаяся фильтрация. При колебаниях уровня воды верхнего бьефа (УВБ) изменение отметок кривой депрессии происходит с меньшей скоростью, чем УВБ, и ее поверхность находится либо выше, либо ниже того положения, которое соответствует установившейся фильтрации. Поэтому в пределах низового откоса каждому УВБ, начиная с НПУ и ниже, может соответствовать два положения кривой депрессии: более высокое при снижении и более низкое при подъеме УВБ. Более высокое положение кривой депрессии увеличивает расход фильтрации и снижает устойчивость откоса, более низкое увеличивает градиенты напора фильтрационного потока. По результатам натурных наблюдений необходимо установить зависимости отметок воды в пьезометрах (УВП) от отметок УВБ, одну для случая подъема, другую для случая снижения УВБ.

Если консолидация связных грунтов ГТС и его основания не завершена, в расчетах устойчивости откосов следует учитывать поровое давление.

Рассматриваются следующие сценарии (см. табл. 3):

Таблица 3

№ сценария (К)	Уровень воды		откос	Положение кривой депрессии	Поровое давление	сейсм	K _{зап}
	в/б	н/б					
1(K ₁)	НПУ	УГВ долины	Низовой	Неустановивш. высокое	По данным КИА	-	с учетом изменчивости $\gamma, tg\phi, C$
2(K ₁)	РПУ	h _{РПУ}	Низовой	Установивш.	По данным КИА	-	с учетом изменчивости $\gamma, tg\phi, C$
3(K ₂)	МПУ	h _{МПУ}	Низовой	Установивш.	По данным КИА	-	с учетом изменчивости $\gamma, tg\phi, C$

4(K ₂)	НПУ	УГВ долины	Низовой	Неустановивш. высокое	По данным КИА	+	с учетом изменчивости $\gamma, tg\varphi, C$
5(K ₁)	РПУ-БС	-	Верховой	По верховому отко-су ядра	По данным КИА	-	с учетом изменчивости $\gamma, tg\varphi, C$
6(K ₂)	РПУ-БС	-	Верховой	По верховому отко-су ядра.	По данным КИА	+	с учетом изменчивости $\gamma, tg\varphi, C$

- Водоподпорные бетонные глухие и водосбросные ГТС.

Водоподпорные глухие и водосбросные ГТС, бетонные (железобетонные), массивные рассчитываются на общую прочность и устойчивость, а так же по деформациям, по раскрытию трещин и строительных швов. На сооружение оказывают воздействие следующие основные нагрузки: собственный вес, гидростатическое давление воды, силы фильтрующейся воды, динамические нагрузки, давление волн, усилия, вызываемые сезонными колебаниями температур наружного воздуха и воды в водохранилище. Сооружения работают в условиях постоянных колебаний уровней воды в верхнем бьефе, фильтрационного давления воды в основании, температуры наружного воздуха и воды, воздействующих на поверхности бетона. С увеличением возраста меняются свойства бетона, под действием сил фильтрации меняются свойства грунтов основания.

По результатам лабораторных и геофизических исследований устанавливаются прочностные и деформационные показатели бетона в сооружении и их изменчивость, а также грунтов основания. Разрабатывается модель напряженно-деформированного состояния ГТС, которая используется для определения напряжений в сооружение при различных сочетаниях нагрузок, включая и «остаточные» напряжения строительного периода, вызванные поэтапным возведением ГТС, снижение температур бетонной кладки от начальных в период твердения до средних

температур эксплуатационного периода и результатами омоноличивания строительных швов.

Раскрытые трещины и не омоноличенные строительные швы учитываются при разработке модели напряженно-деформированного состояния ГТС.

Оценку общей прочности сооружения выполняют путем определения запаса прочности S (3) для разных точек в расчетном сечении конструкции. При расчете устойчивости ГТС определяются коэффициенты запаса на сдвиг для различных сочетаний нагрузок.

Расчеты водоподпорных, бетонных ГТС по деформациям выполняются только в том случае, если имеются ограничения по вертикальным осадкам и горизонтальным смещениям для оборудования и коммуникаций, устанавливаемых на ГТС, и для деформационных швов между отдельными элементами и секциями. Эти разделы проекта не затрагивают вопросов оценки прочности и устойчивости ГТС. Кроме того, расчеты по деформациям выполняются при расположении ГТС на песчаных пылеватых и глинистых грунтах с углом внутреннего трения менее 10° , и если среднее давление от сооружения на основание выше расчетного сопротивления грунта. Из-за повышенных деформаций грунтов основания, низкого угла внутреннего трения и величины допустимого градиента напора фильтрации строительство ГТС на таких грунтах требует специального обоснования.

Из-за постоянного изменения УВБ для определения эпюры фильтрационного давления используются данные натуральных наблюдений, по которым устанавливается связь между УВБ и пьезометрическим напором в скважинах отдельно для случая снижения и отдельно для случая подъема УВБ. Кроме того, необходимо установить наиболее вероятные значения температур наружного воздуха и воды в водохранилище для разных отметок УВБ.

При проверке общей прочности и устойчивости рассматриваются следующие сценарии возможного возникновения аварийных ситуаций (см. таблицу 4):

Таблица 4

Расчет	№ сценария	Уровень воды		Фильтрационное давление	Температурный режим	Давление волн	Сейсм	Запас прочности S, Коэффиц запаса K
		в/б	н/б					
Прочность	1 (K ₁)	НПУ	УГВ	установив.	средний	расчетное	-	с учетом изменчивости γ, R .
	2 (K ₂)	МПУ	$h_{МПУ}$	установив.	средний	расчетное	-	с учетом изменчивости γ, R .
	3 (K ₂)	НПУ	УГВ	установив.	средний	расчетное	+	с учетом изменчивости γ, R .
	4 (K ₂)	$\langle \text{НПУ} \rangle$	УГВ	установив.	максим	расчетное	-	с учетом изменчивости γ, R .
Устойчивость	5 (K ₁)	НПУ	УГВ	не установив. высокое	-	расчетное	-	с учетом изменчивости $\text{tg } \varphi, C$
	6 (K ₂)	МПУ	$h_{МПУ}$	установив.	-	расчетное	-	с учетом изменчивости $\text{tg } \varphi, C$
	7 (K ₂)	НПУ	УГВ	не установив. высокое	-	расчетное	+	с учетом изменчивости $\text{tg } \varphi, C$
	8 (K ₂)	НПУ	УГВ	не установив. высокое	нарушена работа дренажа/ цемзавесы.		-	с учетом изменчивости $\text{tg } \varphi, C$

- Водопроводящие и специальные ГТС.

(Оценка устойчивости откосов дамб каналов и бетонных конструкций НС и ГЭС)

Эти два вида ГТС тесно связаны между собой и работу НС или ГЭС целесообразно рассматривать совместно с работой каналов. Отдельно стоящие здания НС и ГЭС не воспринимают напор воды и остановка их агрегатов или механического оборудования на ремонт снижает только объемы подачи воды или электроэнергии потребителям, но не создает угрозу разрушения

ГТС и затопления территории. Дефицит воды и электроэнергии может быть восполнен из резервов других источников.

Водопроводящие каналы обычно проектируются в выемках и только на пересечениях с водотоками, при специальном обосновании вместо акведуков или дюкеров, устраиваются насыпи. При сооружении напорно-станционных узлов ГЭС и напорный бассейнов НС, а также аванкамер нижних бьефов используются подпорные стенки, работающие на сдвиг. Расчеты по оценке устойчивости откосов каналов и бетонных конструкций НС или ГЭС выполняются аналогично случаям, рассмотренным выше. Для оценки возможности возникновения аварийных ситуаций рассматриваются следующие сценарии (см. таблицу 5):

Таблица 5

Материал	№ сценария	Уровень воды		фильтрация	воздействие		Коэффициент запаса (К)
		в/б	н/б		волн	сейсма	
Грунт	1 (К ₁)	НПУ	УГВ	установившееся	-	-	с учетом изменчивости γ , $\text{tg}\varphi$ и С
	2 (К ₂)	ФПУ	УГВ	установившееся	-	-	тоже
	3 (К ₂)	НПУ	УГВ	установившееся	-	+	тоже
Бетон	1 (К ₁)	НПУ	УГВ	установившееся	расчет	-	тоже
	2 (К ₂)	ФПУ	УГВ	установившееся	расчет	-	тоже
	3 (К ₂)	НПУ	УГВ	установившееся	расчет	+	тоже

II. Сценарии возникновения аварийных ситуаций при потере фильтрационной прочности грунтов тела и основания ГТС.

- ГТС водоподпорные и водопроводящие из грунтовых материалов, глухие и водосбросные ГТС из бетона.

Оценка фильтрационной прочности грунтов тела и основания ГТС заключается в определении расходов фильтрации и градиентов напора фильтрационного потока. Для каждого принятого по длине сооружения контролируемого сечения разрабатывается модель фильтрации и для каждого участка ограниченного линиями равных напоров и линиями тока вычисляются градиенты напора. Используя материалы исследований и рекомендации [28, 29, 40, 42, 43 и 45] назначаются допустимые значения градиентов и определяются коэффициенты запаса равные отношению допустимого значения к вычисленному по модели. При оценке фильтрационной прочности грунтов тела и основания ГТС рассматриваются следующие сценарии возникновения аварийных ситуаций (см. таблицу 6):

Таблица 6

№ сценария	Уровень воды		Расход фильтрации	Поверхность кривой депрессии (фильтрационное давление)	Коэффициент запаса прочности $K_{зап}=(J_{доп}/J_{фак})$
	в/б	н/б			
1 (K_1)	НПУ	УГВ	по расчету	не установившаяся верхнее	по расчету модели
2 (K_1)	НПУ	УГВ	по расчету	не установившаяся нижнее	по расчету модели
3 (K_2)	МПУ (ФПУ)	$h_{МПУ}$	по расчету	установившаяся	по расчету модели
4 (K_1)	УВБ-БС	-	-	по верховому откосу ядра (экрана)	по расчету модели

Примечание: УВБ-БС – быстрая сработка УВБ от РПУ до максимально возможной (только для водоподпорных грунтовых ГТС).

III. Сценарии возникновения аварийных ситуаций при пропуске воды через ГТС.

Вероятность возникновения аварийных ситуаций при пропуске расходов воды через ГТС зависит от величины превышения гребня ГТС над уровнем воды в верхнем бьефе. В период сейсмического воздействия происходит «разжижение» грунтов и снижение отметок гребня ГТС. Образовавшаяся гравитационная волна может перелиться через верх сооружения и разрушить его. Перелив воды через верх ГТС также возможен при воздействии ветровых волн в период высоких уровней воды в верхнем бьефе (НПУ и МПУ), при снижении пропускной способности водопропускных сооружений гидроузла во время пропуска основного расчетного паводка (РПУ) из-за разрушения бетона на каком либо участке водовода, завале наносами отверстий водоприемника, а также из-за отказов в работе механического оборудования, систем управления оборудованием, временного прекращения энергоснабжения. Перелив воды через верх ограждающих конструкций водопроводящих сооружений (каналов) может происходить при прохождении волн неустановившегося движения воды, которые образуются при смене режима работы каналов. В связи этим в проекте должен выполняться гидравлический расчет работы каналов на неустановившиеся режимы течения, возникающие при изменении расходов и уровней воды (образование волн перемещений при маневрировании затворами перегораживающих сооружений), а также при включении или прекращении работы агрегатов НС и ГЭС. Необходимо установить зависимость высоты волны неустановившегося движения от величины изменения расходов воды. В период эксплуатации эту зависимость следует корректировать по данным натурных наблюдений.

Каналы с пропускной способностью более $100 \text{ м}^3/\text{с}$ имеют большие площади поперечного сечения и на участках, совпадающих с направлением ветра, может образовываться ветровая волна.

Напорные трубопроводами насосных станций длиной более 600 м должны проектироваться с учетом возможного возникновения гидравлического удара. При внезапном отключении энер-

гии и неконтролируемом оттоке воды из трубопроводов, в них создаются условия для образования вакуума. Нарушение герметизации трубопровода создает угрозу затопление сооружений, расположенных в нижнем бьефе.

Методы оценки возможности перелива воды через верх ограждающих сооружений для случаев сейсмического воздействия, или воздействия ветровых волн при высоких уровнях воды в верхнем бьефе сооружений (НПУ, РПУ, МПУ) предусмотрены в СНиП. Превышение горизонтов воды над РПУ при пропуске основного расчетного паводка из-за снижения пропускной способности сооружений по причине временного выхода из строя механического оборудования, или разрушения бетона на каком либо участке водовода можно оценить на основе гидравлических расчетов этих сооружений. Превышение верха водоподпорных сооружений над УВБ постоянно меняется из-за вертикальных деформаций (осадок) этих сооружений. На основе данных натурных наблюдений устанавливается закон плотности распределения осадок гребня, на основе которого определяется величина вероятности осадки гребня до отметок высоты наката ветровых и гравитационных волн в верхнем бьефе гидроузлов и волн перемещений неустановившегося движения в каналах.

Для оценки возможности возникновения аварийных ситуации при пропуске расходов воды через ГТС рассматриваются следующие сценарии (см. таблицу 7):

Таблица 7

тип ГТС	№ сценария	уровень воды	сейсм	вид отказа	скорость ветра (волны)	высота наката	деформация гребня
Водоподпорные	1 (К ₂)	НПУ	МРЗ	-	5 м/с	расчет	по данным КИА
	2 (К ₁)	НПУ	-	-	2 %	расчет	по данным КИА
	3 (К ₂)	МПУ	-	-	20 %	расчет	по данным КИА
	4 (К ₁)	РПУ	-	ремонт мехоборуд	2 %	расчет	по данным КИА

	5 (K ₁)	РПУ	-	отключ. электро- эн	2 %	расчет	по данным КИА
Водопроводящие	1 (K ₁)	НПУ	-	одно отвер- стие(аг регат НС, ГЭС).	-	расчет	по данным КИА
	2 (K ₁)	НПУ	-	один трубо- провод группа отвер- стий.	-	расчет	по данным КИА
	3 (K ₂)	НПУ	-	отключ. электро- эн	-	расчет	по данным КИА
	4 (K ₂)	ФПУ	-	разрыв трубы.	-	расчет	-

В данной работе не представляется возможным рассмотреть всё многообразие ГТС. Рассмотренные сценарии оценки возникновения аварийных ситуаций учитывают лишь требования действующих норм и не учитывают индивидуальные особенности конкретных ГТС. При объединении отдельных ГТС в гидроузлы состав сценариев также подлежит уточнению. Рассмотренные сценарии могут быть дополнены другими, имеющими реально возможные совместимые события, и когда величина произведения их вероятностей будет не менее 1×10^{-7} (условно принято за «0»).

Если на ГТС имеются несколько контролируемых сечений (поперечников), то в «древо событий» включается тот поперечник, по которому рассматриваемый сценарий имеет наибольшее значение вероятности.

Вероятность наступления аварии по каждому отдельному сценарию определяется с использованием теоремы умножения вероятностей. Общий уровень риска аварии ГТС по каждой группе причин (расчетов) определяется как сумма вероятностей по всем сценарием группы. Сумма уровней риска трех основных

причин (древо событий) определит общий уровень риска аварии по ГТС в целом.

1.5.3 Методы определения вероятности наступления отдельных событий (отказов) на ГТС.

1.5.3.1 Для определения уровня риска аварии необходимо знать вероятность наступления каждого отдельного события (отказа), входящего в сценарии развития аварийных ситуаций на ГТС для всего «древа событий» в целом. Ежегодная вероятность превышения максимальных расчетных расходов воды и скорости ветра задаются нормами (СНиП) в зависимости от класса капитальности ГТС. Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах определяются условиями пропуска максимальных расходов воды через ГТС. Ежегодная вероятность их появления определяется вероятностью появления соответствующего максимального расхода. Методики построения кривых обеспеченности этих показателей изложены в [22,39]. По этим кривым можно определять вероятность превышения любых промежуточных расходов и уровней воды в верхнем и нижнем бьефах.

1.5.3.2 Вероятностные характеристики сейсмических воздействий могут быть определены, исходя из следующих условий. Территория района строительства ГТС в радиусе 200 км. разбивается на элементарные участки одинакового размера 10x10 км. Для каждого элементарного участка поверхности по глубине сейсмогенерирующего слоя, используя данные инструментальной регистрации сильных движений грунта, устанавливаются следующие сейсмические характеристики:

- значения потенциально опасных магнитуд землетрясений,
- параметры колебаний грунта при землетрясениях с различными магнитудами,
- повторяемость (число землетрясений в течение одного года с различными магнитудами),
- функции изменения амплитуды колебания грунта в диапазоне расстояний 0-200 км.

Исходная информация о возможных сейсмических воздействиях собирается за период, соответствующий сроку службы сооружения. Для практических целей обычно достаточно учитывать землетрясения с магнитудой $M=3$ и выше.

Перечисленные выше данные позволяют сделать необходимые вычисления и построить график годовой вероятности не превышения максимальных ускорений колебания грунта для участка расположения ГТС повторяемостью один раз в 100-10.000 лет, а также синтезировать акселерограммы землетрясений. Методика таких вычислений приведена в приложении- 4. Выполнение расчетов по определению вероятностных характеристик сейсмических воздействий целесообразно поручать специализированным организациям, имеющим в своем распоряжении данные сейсмометрических наблюдений.

1.5.3.3 Для большинства событий, участвующих в оценке уровня риска аварии ГТС, вероятность их наступления не регламентирована нормами, поэтому они нуждаются в том, чтобы для них были установлены вид функций и законы их распределения. Всякое теоретическое распределение характеризуется величиной своих основных параметров: математическим ожиданием - \bar{x} (центр группировки, среднее значение), дисперсией - S^2 (величина рассеивания, S -среднее квадратичное отклонение), асимметрией - A и эксцессом - E .

Если $A=0$ кривая симметричная. $A>0$ асимметрия положительная, при $A<0$ асимметрия отрицательная. Эксцесс характеризует крутизну кривой. В качестве кривой с нулевым эксцессом принята кривая нормального распределения. Если $E>0$ эксцесс положительный и вершина кривой находится выше кривой нормального распределения и наоборот.

Наиболее известным и часто используемым для расчетов является закон нормального распределения (Гаусса), его функция плотности описана уравнением

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}, \quad (7)$$

где параметр функции Лапласа $t = \frac{x - \bar{x}}{S}$. Этому закону подчиняются все случайные величины, на которые оказывают влияние большое число равнозначных по величине факторов.

Существуют достаточно большое число других видов функций: закон Максвелла при исходном двухмерном законе

Гаусса, закон модуля разности, распределение размахов, закон равной вероятности, композиционный закон Гаусса и равной вероятности, тоже, но равномерно возрастающей (убывающей) вероятности, экспоненциальный односторонний (показательный), распределение редких событий (Пуассона), распределение Лапласа-Шарлье, распределение Пуассона-Шарлье и другие. Большая часть из них находит применение при определении характеристик машин, их деталей и материалов. Это точность работы отдельных механизмов, расположения их узлов, величины зазоров, линейные и угловые размеры. Для оценки состояния ГТС практическое применение имеют четыре закона распределения: нормальный, Лапласа-Шарлье, закон распределения редких событий (Пуассона) и показательный.

1.5.3.4 Для применения нормального закона распределения требуется большое количество данных наблюдений и исследований. При ограниченном количестве данных мы часто имеем асимметрию и эксцесс в распределении, которые будут искажать результаты оценок. Распределению Лапласа-Шарлье подчиняются величины близкие к нормальному распределению, но имеющие асимметрию и эксцесс отличные от нуля.

Закону распределения редких событий подчиняются дискретные случайные величины, вероятность которых мала, а объем выборки велик: число бракованных изделий, отказы в работе механического оборудования ГТС, их систем АСУ и перебои в электроснабжении.

Из-за простоты расчетов широкое применение имеет также показательный закон распределения.

Функция плотности закона Лапласа-Шарлье описывается уравнением

$$\varphi(x) = \left[\varphi(x)_{\text{норм}} + \frac{A}{6} * \Phi'''(x) + \frac{E}{24} * \Phi^{IV}(x) \right], \quad (8)$$

где $\Phi'''(x)$ и $\Phi^{IV}(x)$ третья и четвертая производные функции нормального распределения.

$$\text{Асимметрия } A = \frac{\sum(x - \bar{x})^3}{S^3}, \text{ эксцесс } E = \frac{\sum(x - \bar{x})^4}{S^4} - 3, \text{ При } A=0$$

и $E=0$ функция плотности Лапласа-Шарлье становится функцией нормального закона.

Функция плотности закона распределения редких событий (Пуассона) описывается уравнением:

$$P_{m,n} = \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (9)$$

где m- объем изделий, продолжительность периода наблюдений и т.д.

N- общее число изделий, продолжительность периодов, n- число бракованных деталей, продолжительность отказов, $a = \frac{\sum m \cdot n}{N}$ - среднее число событий с отказами, $m! = 1 \times 1 \times 2 \times 3 \times 4 \dots$

Функция плотности непрерывной случайной величины, подчиненной показательному закону, имеет вид:

$$P_x = \frac{1}{x} e^{-t} \quad (10)$$

при $x \geq 0$, при $x < 0$ $P_x = 0$, где $t = x/\bar{x}$, \bar{x} математическое ожидание случайной величины x.

Примеры использования вышеуказанных законов для определения вероятности наступления событий приведены в приложении 4.

1.5.3.5 Общий допустимый уровень риска аварии в целом по ГТС в соответствии с [21] не должен превышать для сооружений 1-го класса – 0.00005 (раз в 20.000 лет), для 2-го класса – 0.0005 (раз в 2000 лет) и для 3-го класса – 0.003 (раз в 330 года). С позиции безопасности ГТС уровень риска аварии необходимо назначать не по классу, а по категории опасности, так как класс сооружения назначается по многим признакам и они не всегда указывают на опасность ГТС.

Очень большая разница в величине допустимого уровня риска между 1-м и 2-м, между 2-м и 3-м классами. Если эти требования принять к руководству, эксплуатация действующих ГТС 1-го класса и многих ГТС 2-го класса при таких допустимых уровнях риска сегодня должна быть приостановлена.

Требования к проектам сооружений разных классов отличаются только величиной коэффициента надежности с разницей между классами в 0.05 (1.25, 1.20, 1.15 и 1.10), поэтому по устойчивости и прочности ГТС и фильтрационной прочности

грунтов в величине уровня риска аварии для разных классов сооружений большой разницы в допустимых уровнях не должно быть. Разница в величинах уровня риска для разных классов сооружений возможна только при оценке перелива воды через гребень водоподпорных ГТС из-за большого различия в обеспеченности максимальных расходов. Но в районах с высокой сейсмичностью не зависимо от класса ГТС, выбор отметки верха водоподпорных сооружений определяется высотой гравитационной волны.

Предлагается принять допустимый уровень риска аварии для сооружений 1-й категории равным 0.0005 (раз в 2000 лет), для 2-й категории – 0.001 (раз в 1000 лет), для 3-й категории – 0.002 (раз в 500 лет) и для 4-й категории – 0.004 (раз в 250 лет). Допустимый уровень риска при переходе с 1-ой категории на 2-ю возрастает в 2 раза и так далее.

Допустимый уровень риска должен назначаться не только для сооружения в целом, но и для отдельных видов сценариев, чтобы сохранить нормативные требования к оценке их уровня риска для разных расчетных условий. Допустимый уровень риска аварии в целом по ГТС и отдельных видов сценариев показан в таблице 8.

Таблица 8

Виды сценариев	1-я категория	2-я категория	3-я категория	4-я категория
Общий уровень риска	0.0005	0.001	0.002	0.004
Перелив воды через гребень	0.0001	0.0002	0.0004	0.0008
Потеря фильтрационной прочности	0.0002	0.0004	0.0008	0.0016
Потеря устойчивости, прочности	0.0002	0.0004	0.0008	0.0016

При уровне риска аварии ГТС выше указанных значений, эксплуатация сооружения не возможна без выполнения ремонтно-восстановительных работ.

На рисунке 2 показан пример оценки уровня риска аварии гидроузла, состоящего из грунтовой плотины и водовыпускного

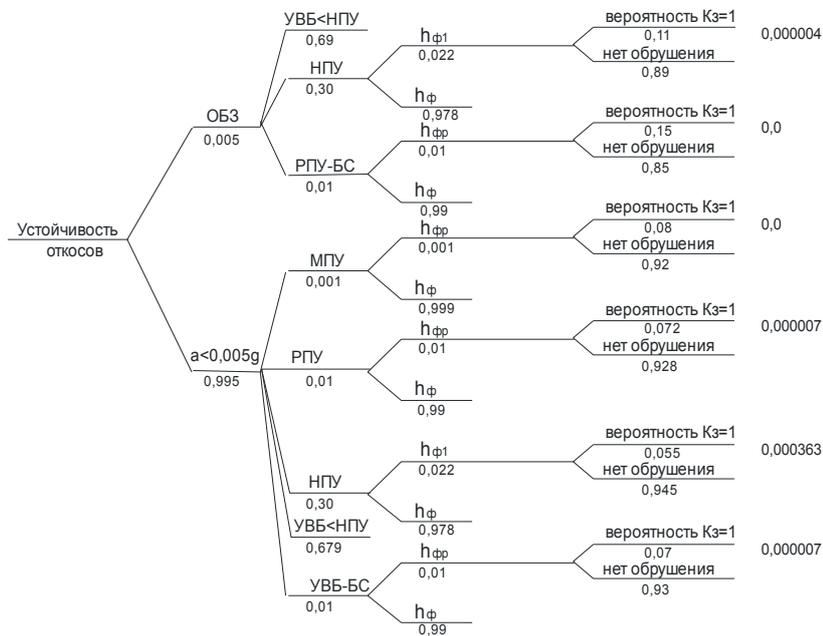
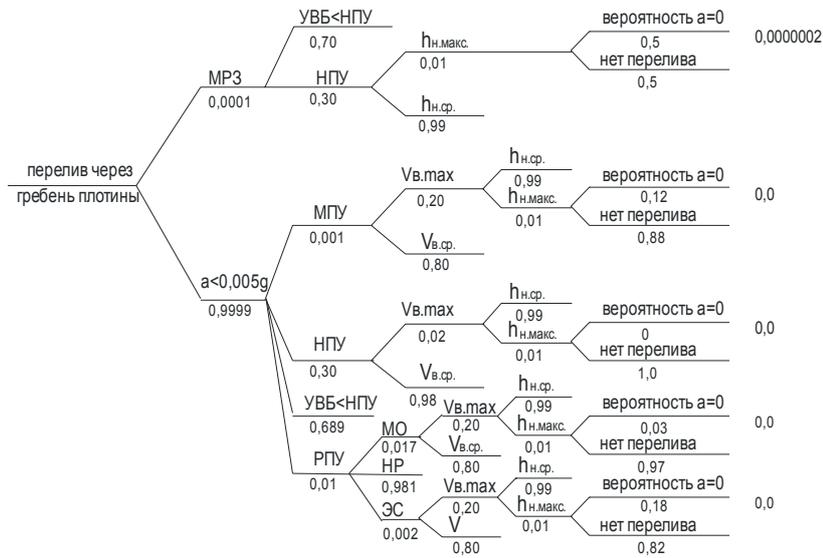
сооружения оборудованного затворами с электрическим приводом. Отводящая труба, проложена под плотиной. Согласно рекомендаций п. 1.1.2, ГТС имеет 2-ю категорию опасности и допустимый уровень риска (таблица 8) – 0.001 «Дерево событий» состоит из трех групп сценариев, дающих оценку риска перелива воды через гребень плотины, оценку вероятности потери устойчивости откосов и возникновения суффозии в грунтах тела и основания плотины. Вероятность возникновения аварии по сценариям, произведение вероятностей по которым было менее 1×10^{-7} , принималось равным нулю. Общий уровень риска аварии по гидроузлу равен $0.000431 < 0.001$ (блок – $0.0000002 < 0.0002$, блок 2 – $0.000381 < 0.0004$, блок 3 – $0.00005 < 0.0004$).

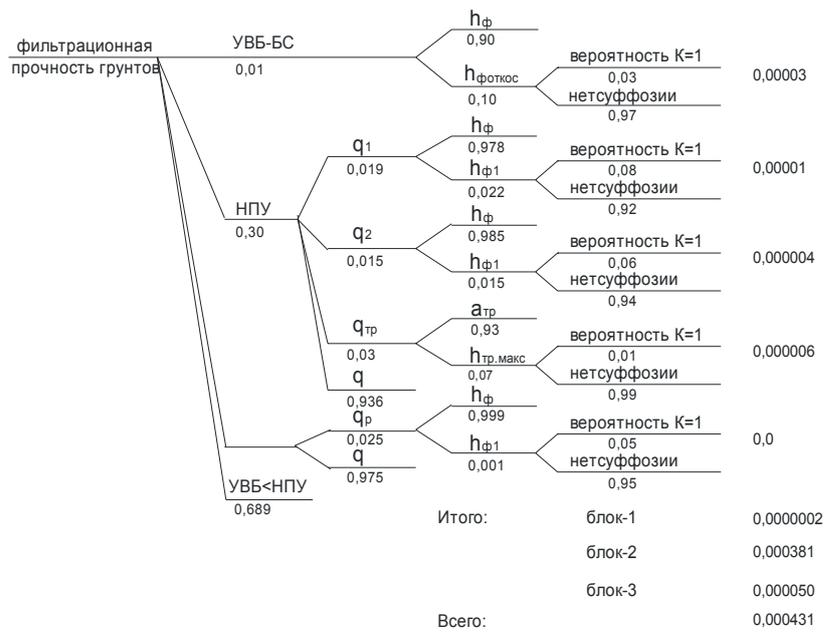
1.6 Особенности разрушения ГТС, определение границ зоны затопления.

1.6.1 Нарушение или полное разрушение ГТС происходит по разным причинам, из них наиболее распространенными являются:

- обрушение откосов грунтовых ГТС
- перелив воды через гребень водоподпорного сооружения,
- недостаточная фильтрационная прочность и несущая способность грунтов основания,
- недостаточная фильтрационная прочность материалов, из которых возведено водоподпорное сооружение.

Обрушение откосов грунтовых ГТС может произойти из-за дефектов укладки материалов, или из-за просадки грунтов основания (когда в основании залегают просадочные грунты или мелкозернистые песчаные, подверженные разжижению при сейсмическом воздействии). При обрушении откосов грунтовых ГТС проран на участке дефектной зона образуется практически мгновенно и на всю высоту насыпи. Напор воды на входе в проран равен глубине воды перед насыпью. Определение величин расходов воды, вытекающих из чаши водохранилища в разные промежутки времени (построение гидрографа волны прорыва), можно вычислить методами, приведенными в [17,45].





Условные обозначения:

МРЗ - максимальное разрушительное землетрясение	h_n - высота наката волны на откос
ОБЗ - расчетное землетрясение	V_v - скорость ветра
УВБ -уровень воды в верхнем бьефе	a - запас гребня плотины над волной
УВБ БС - тоже, с быстрой сработкой	$h_{ф1}$ - положение кривой депрессии верхнее
МПУ - максимальный подпертый уровень	$h_{фр}$ - тоже, при установившейся фильтрации
РПУ - уровень расчетного паводка	K_3 - коэффициент запаса
НПУ - нормальный подпертый уровень	Q - расход фильтрации
МО - сбой в работе механического оборудования	$Q_{тр}$ - расход фильтрации через трещину (шов)
ЭС - сбой в подаче энергоснабжения	$a_{тр}$ - ширина трещины (шва)
НР - период нормальной работы	

Оценка вероятности аварии гидроузла, состоящего из грунтовой плотины и водовыпуска с отводящей трубой под плотиной

Рис. 2.

Перелив воды через гребень водоподпорных сооружений может происходить:

а) при повышении уровня верхнего бьефа выше критических отметок из-за снижения пропускной способности водосбросных сооружений вследствие отказов в работе отдельных отверстий или завале наносами водоприемников и русел подводящих каналов;

б) при недостаточном запасе превышения гребня над накатом ветровых и других волн из-за осадок и деформаций сооружения и основания, в том числе и вследствие разжижения грунтов при сейсмических воздействиях.

Если водоподпорное сооружение бетонное и обладает достаточной прочностью и устойчивостью, поток воды переливается через сооружение слоем h по всей длине гребня L . Расход потока воды Q можно определить по уравнению $Q = m * L * h \sqrt{2gh}$, где m коэффициент расхода водослива с широким порогом.

Если водоподпорное сооружение насыпная земляная плотина (дамба), то поток воды, переливающийся через гребень, разрушит ее. Как правило, разрушение происходит на довольно ограниченном участке по длине сооружения - проране шириной 0.5-1.0 $H_{пл}$. Поток воды, перелившийся через гребень, попадает на низовой откос, имеющий уклон 1:2, 1:3. Возникает перепад (движение потока воды как по быстротоку возможно при уклонах менее 1:4), который создает на низовом откосе воронку размыва. Вследствие размыва, перепад начинает движение вверх по течению, разрушает гребень плотины и выходит на верховой откос, образуется проран- канал в теле плотины с уклоном дна, близким к 0.15-0.25. Скорости потока воды в проране могут достигать 30-50 м/с, скорости размыва дна 0.3-0.5 м/мин. В нижней части канала, где он сопрягается с низовым откосом, сохраняется движение потока воды в виде перепада. Образуется новый уступ, который начинает движение вверх по течению прорана в сторону верхового откоса. По длине прорана может образовываться несколько перепадов одновременно и так до тех пор, пока нижняя часть прорана не достигнет основания плоти-

ны. Если основание сложено четвертичными отложениями, размыв будет продолжаться, пока не будут созданы условия для гашения энергии потока. Если основание сложено скальными породами, воронка размыва не образуется, и волна прорыва на начальном участке своего пути будет иметь более высокие скорости течения. После того как проран достигнет основания, разрушение его дна и стенок начнет снижаться, а уклон дна выглаживаться.

Расходы потока воды, вытекающие из водохранилища по прорану, будут изменяться во времени. На первой стадии зарождения прорана они будут относительно небольшими. Затем, после начала поступления воды из водохранилища непосредственно в проран, они резко начнут увеличиваться. Основные объемы воды в водохранилище находятся в верхних слоях. Размыв дна прорана и снижение его отметок происходит быстрее, чем снижение отметок уровня верхнего бьефа. Напор воды на входе в проран и глубины потока будут увеличиваться, будут расти скорости и расход прорывной волны. Затем, когда скорость снижения уровней воды в водохранилище начнут опережать скорости размыва дна прорана, начнут снижаться напоры воды на входе в проран, глубины потока и расходы волны прорыва. Расчет расходов гидрографа прекращается, когда величина снижения горизонтов воды в водохранилище сравняется со скоростью снижения отметок дна прорана.

1.6.2 Сегодня нет достаточно надежных методов расчета процесса разрушения грунтовых плотин и определения гидрографа прорывной волны. Для ориентировочных расчетов можно принимать: ширину прорана $b = 0.7 H_{пл}$, начальный напор на входе (величина переливающегося слоя) $H = 0.5-1.0$ м, уклон дна $i = 0.15-0.20$. Скорость снижения (размыва) дна Δh м/мин зависит от скорости потока воды в проране V м/с. $\Delta h = 0.01 V$ м/мин. Скорость воды можно определить по формуле $V = q/h$ (погонный расход на глубину потока воды), где $h = k * H$. $k = (0.5-0.67)$ принимается в зависимости от величины коэффициента расхода водослива с широким порогом соответственно для $m = 0.34$ и 0.385 . Расчет ведется подбором: задается шириной прорана и началь-

ным напором (величиной переливающего слоя) определяем расход воды, скорость потока и скорость размыва дна. Задаем интервалом времени и определяем объем стока воды, который вытечет из водохранилища в течении принятого интервала времени. По кривой емкости водохранилища определяется отметка УВБ и расчетный напор на входе в проран в конце расчетного интервала времени. По формуле водослива с широким порогом повторно определяем расход воды, объем сработки и новую отметку УВБ. Определение расхода воды прорывной волны в первый интервал времени прекращают тогда, когда заданная отметка УВБ совпадет с вычисленной. Затем аналогичным способом определяется расход волны прорыва в следующий интервал времени. Для более точного определения гидрографа прорывной волны необходимо выполнять исследования специальной гидравлической модели.

1.6.3 При недостаточной фильтрационной прочности и несущей способности грунтов основания, или фильтрационной прочности материалов тела водоподпорного сооружения, возникает механическая суффозия и неравномерная деформация, что в итоге приводит к образованию локальных замкнутых полостей. Когда такие полости соединяются между собой, образуется единый фильтрационный проход и свободное течение потока воды из верхнего бьефа в нижний. Величину расхода воды через такой проход можно определить по формуле $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$, где μ и ω - коэффициент расхода и площадь сечения полости, H - действующий напор воды.

В скальных породах, имеющих сравнительно высокую несущую способность, процесс механической суффозии развивается сравнительно медленно, а величины деформаций незначительные, поэтому, как правило, имеется некоторое время для принятия решения и выполнения мероприятий по ликвидации опасной фильтрации. В породах четвертичного возраста, после образовании сквозной полости фильтрации, ее размеры и скорость потока начинают быстро увеличиваться. В таких случаях необходимо экстренно снизить уровни воды в верхнем бьефе, организовать перекрытие полостей фильтрации путем устройств

ва завесы из металлического шпунта и другие мероприятия, чтобы обеспечить в первую очередь снижение расходов фильтрации и затем ликвидировать ее вообще.

1.6.4 Для организации защиты населения, производственных и сельскохозяйственных объектов от возможного затопления необходимо рассчитать гидрограф прорывной волны для случая возникновения суффозии в основании или теле ГТС и определить границы зоны затопления. Для случая, когда полость фильтрации образуется в четвертичных грунтах, скорость размыва грунта на ее поверхности, также как и в предыдущем случае, будет определяться скоростью потока воды. По мере размыва грунта и увеличения размеров полости, гидравлические потери по длине будут снижаться, расход и скорость потока увеличиваться. Когда поперечные размеры полости станут соизмеримыми с высотой насыпи плотины ($d \geq 0.5H$) произойдет обрушение свода полости, а за ним и самого водоподпорного сооружения. Мгновенно образуется проран на всю высоту насыпи.

Расчет гидрографа прорывной волны выполняется в два этапа: задаются размерами полости и ее гидравлическими сопротивлениями, определяют расход и скорости воды, через принятые интервалы времени уточняют расчетный напор, определяют новые размеры поперечного сечения и так до тех пор, пока не произойдет ее «обрушение». После образования прорана, расчет выполняется по аналогии с предыдущим случаем.

1.6.5 Для определения границ зоны затопления используются топографические карты масштаба 1:10.000 и 1: 5.000. Предварительно на картах выделяют зоны с различной шероховатостью поверхности земли (поселки, лесные массивы, поля и другие разновидности ландшафта). По пути движения волны прорыва разбивают поперечники равномерно по длине и в характерных местах. Для каждого поперечника определяют уклон дна. По гидрографу волны прорыва определяют максимальный расход воды и для каждого поперечника подбором по уравнению

$Q = \omega C \sqrt{R * i}$ определяют отметку уровня воды соответствующую максимальному расходу и границы зоны затопления.

(С - коэффициент Шези, вычисляемый по уравнению $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$,

R - гидравлический радиус, i - уклон, n - коэффициент шероховатости, средневзвешенный по длине смоченного периметра).

Для участков по пути движения потока, где поток будет делиться между отдельными протоками, должно соблюдаться условие $\sum Q_p = Q_{\max}$ при одинаковом для всех проток уровне воды.

Если по пути движения потока встречается сужение русла (каньон, ущелье) происходит подпор горизонтов воды, дополнительное подтопление территории выше ущелья и снижение величин расходов прорывной волны за счет трансформации части ее стока.

1.7 Основные положения создания систем раннего предупреждения и оповещения [16].

1.7.1 Согласно анализа данных по аварийным ситуациям, выполненных в США, гибель людей по пути движения волн прорыва, возникающих при разрушении ГТС, составляют:

- в течение первых 15 минут движения потока воды - 50% от населения подверженного риску (нпр);

- в промежутке времени 15 мин < t < 90 мин. потери достигают- (нпр)^{0.6};

- на территории, куда доходит поток воды через 1.5 часа, потери не превышают 0.02 % (нпр).

Расстояние, которое преодолевает поток воды за первые 15 мин. составляет 8-10 км, за 1.5 часа - 50-70 км. Нижней границей зоны затопления может быть, либо водоприемник (река или замкнутое понижение), либо территория, где слой воды от затопления не превышает 10 см. Для снижения потерь людей и ущербов от разрушения ГТС служба эксплуатации должна иметь план действий в аварийных ситуациях (ПДАС) и систему раннего предупреждения и оповещения. Цель (ПДАС): оценить потенциал аварийной ситуации, определить ответственных, оперативными действиями свести к минимуму разрушение ГТС

и риск человеческим жизням. Ответственным за подготовку (ПДАС) является владелец ГТС, который координирует свои действия со службами МЧС.

1.7.2 (ПДАС) состоит из:

- Материалов проекта:
 - план гидроузла с водосбросными и водозаборными сооружениями, план подходов и служебных галерей;
 - данные о пропускной способности каждого сооружения, кривая емкости водохранилища;
 - проект размещения КИА;
 - рабочие чертежи электроснабжения гидроузла;
 - карты зоны затопления с указанием границ возможного затопления, участков с временными интервалами движения потока, максимальные уровни и скорость движения волны прорыва.
- Классификации сигналов тревоги:
 - «местный», подается персоналом ГТС (отдельные контролируемые показатели приближаются к значениям K_1);
 - 1-й уровень - «внешнее оповещение» (отдельные контролируемые показатели превысили значения K_1);
 - 2-й уровень - «предупреждение и подготовка к эвакуации» (отдельные контролируемые показатели приближаются к значениям K_2);
 - 3-й уровень - «необходимость эвакуации» (отдельные контролируемые показатели превысили значения K_2).
- Порядок уведомления о возникновении аварийной ситуации.

Сигнал тревоги «местный»: дежурный персонал уведомляет главного инженера ГТС. Он выполняет предварительную оценку уровня опасности. Если опасность местного значения, организует выполнение мероприятий по восстановлению работоспособности ГТС. Если угроза сохраняется – уведомляет директора ГТС.

Сигнал тревоги «1-го уровня»: директор ГТС санкционирует оповещение областных и республиканских вышестоящих организаций. Эти организации создают Консультативный Совет, который выезжает на место, изучает обстановку и выдает дирек-

тору ГТС рекомендации по составу и объемам восстановительных работ. Если опасность сохраняется, рекомендует директору ГТС сделать предупреждение о подготовке к эвакуации.

Сигнал тревоги «2-го уровня»: директор ГТС уведомляет организации, контролирующие безопасность ГТС, водохозяйственные организации области и республики, МВД, районные и областные исполнительные органы и население в 10-ти километровой зоне ниже ГТС о необходимости готовиться к эвакуации. После выполнения вышеуказанных действий, принимает меры по снижению уровня риска аварии. Если ситуация не улучшается, вносит предложение о эвакуации.

Сигнал тревоги «3-го уровня»: ответственные представители МЧС, МВД, организаций контролирующие безопасность ГТС и водное хозяйство принимают решение о эвакуации.

- персонал ГТС вводит в действие систему звукового оповещения и продолжает выполнять действия по снижению ущерба своего ГТС.

- исполнительные органы создают комиссии по оценки ущербов и ведут оценку ущербов.

- министерство здравоохранения создает полевые медицинские пункты и оказывает медицинскую помощь населению.

- МЧС и МВД осуществляют эвакуацию населения, техники имущества и охрану территории.

(ПДАС) должен быть утвержден и подписан всеми организациями, участвующими в его осуществлении. Все организации, вовлеченные в (ПДАС) должны иметь копии плана. План должен обновляться каждые 5 лет. Для поддержания оперативной готовности, организации, участники (ПДАС), должны ежегодно проводить обучение сотрудников на специальных семинарах, где необходимо проверять знание участников семинара своих обязанностей по осуществлению плана, и на примерах, имитирующих аварию, проверять готовность всех организаций к выполнению своих обязанностей. Схемы принятия решений по выполнению (ПДАС) показаны на рисунках 3, 4, 5 и 6.

1.7.3 Для выполнения вышеуказанных задач на ГТС должна быть создана система раннего предупреждения и оповещения, которая состоит из 3-х подсистем.

- система оперативного сбора данных натуральных наблюдений за показаниями КИА, их обработки и анализа. Оперативный контроль критериев безопасности.

Процедура оценки аварийной ситуации на водохранилище

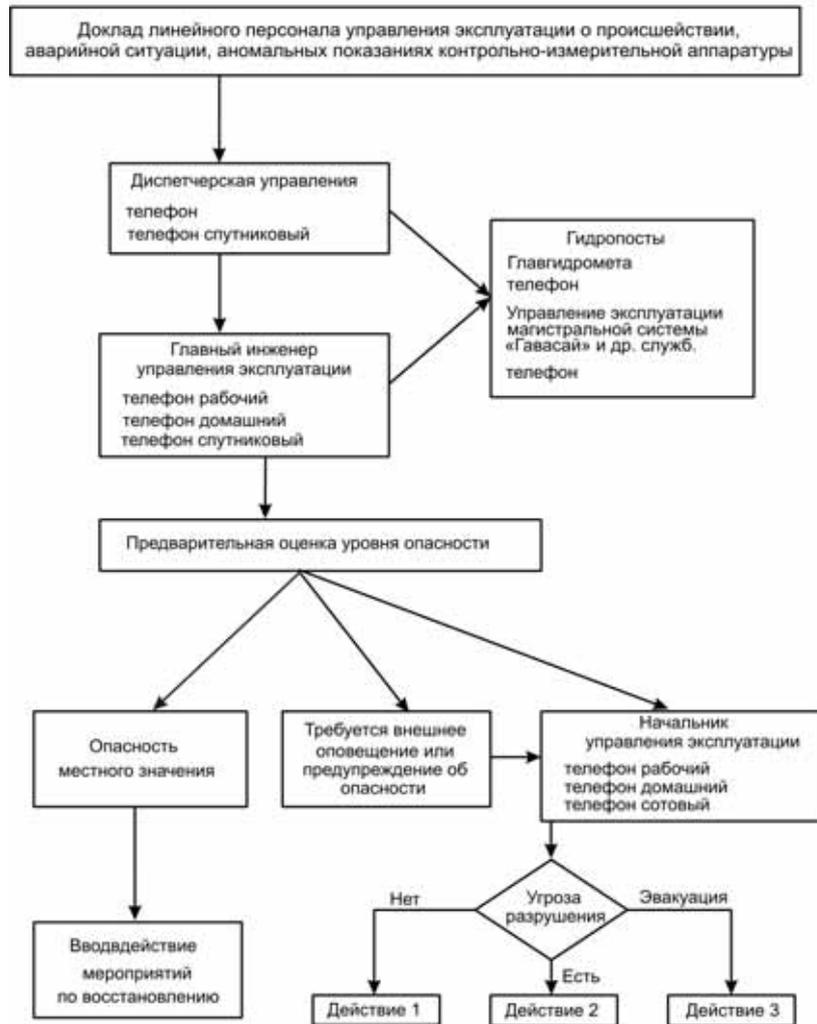


Рис. 3.

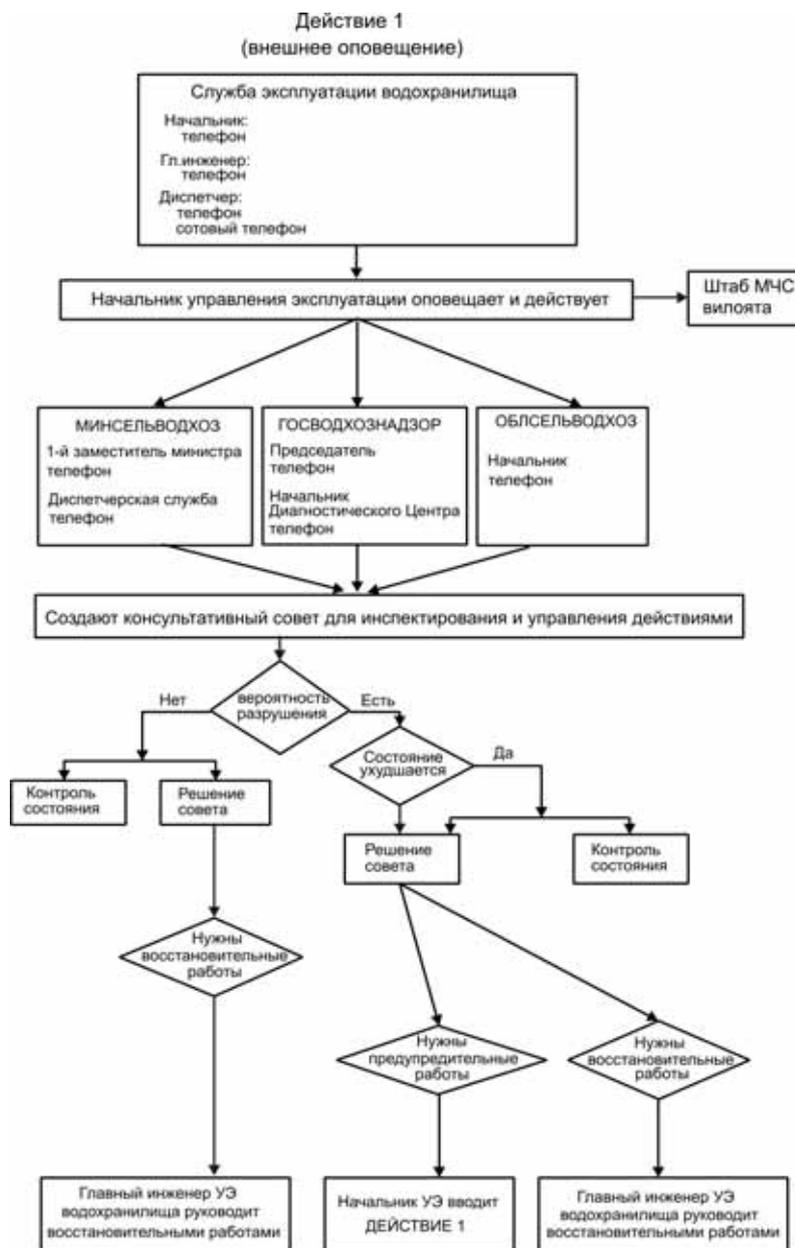


Рис. 4.

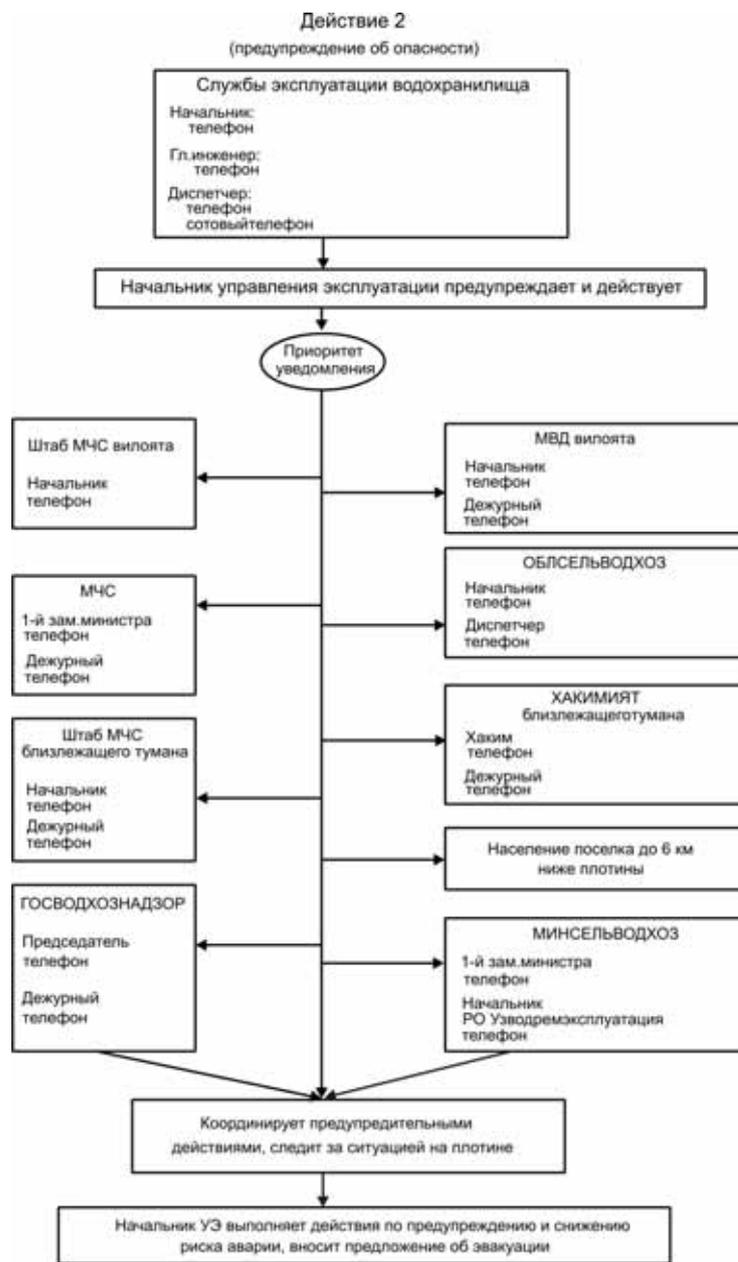


Рис. 5.

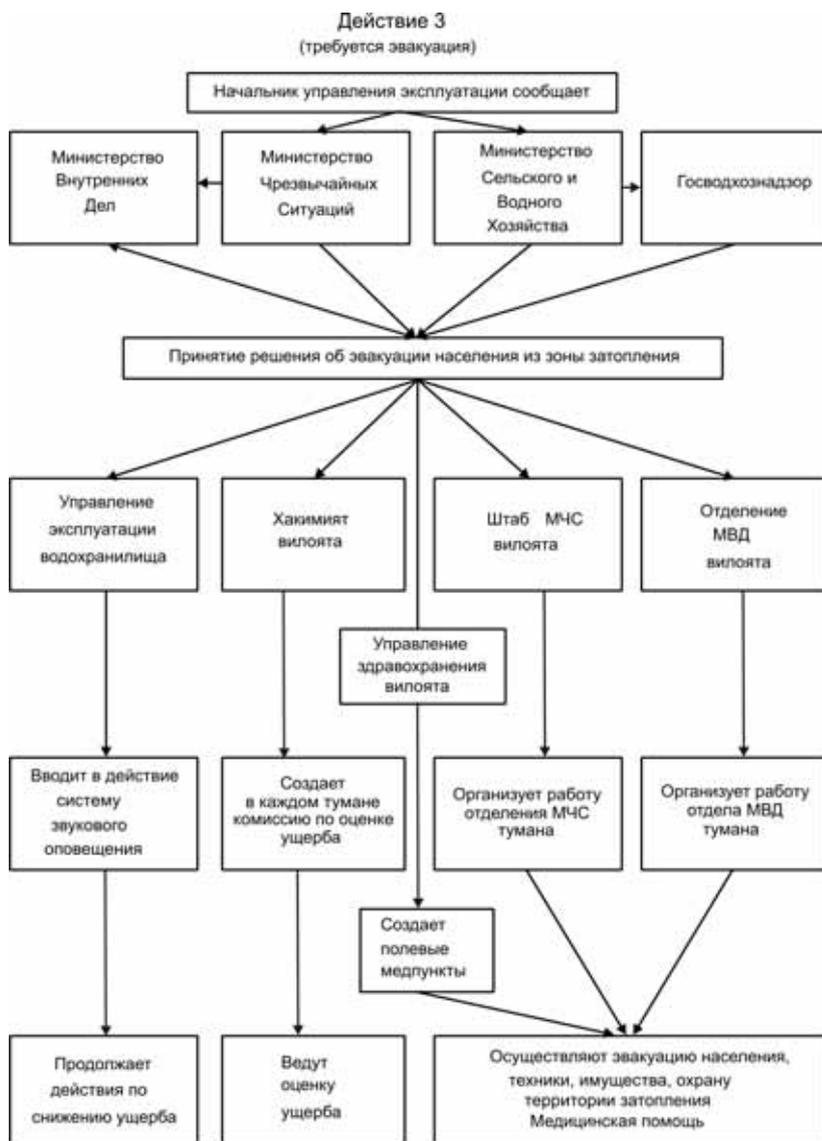


Рис. 6.

- внутренняя ведомственная и междугородняя линии телефонной связи.
- громкоговорящая и сигнальные системы оповещения населения в зоне затопления.

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДЕТАЛЬНЫХ ПРОЕКТОВ.

Детальные проекты потенциально опасных ГТС должны иметь высокую надежность своих контролируемых показателей, поэтому к работам по изысканиям, исследованиям и принимаемым техническим решениям при проектировании ГТС должны предъявляться дополнительные требования.

2.1 Климат и гидрологические условия.

Для повышения надежности расчетов максимальных расходов на водоемнике, где проектируется ГТС, следует уже на ранней стадии проектирования вести наблюдения за расходами воды не менее чем на трех гидропостах: первый в створе, второй в нижнем бьефе гидроузла, третий выше по течению за пределами кривой подпора. Если в пределах кривой подпора от гидроузла в источник впадают крупные притоки, они также должны быть оборудованы гидропостами. Все гидропосты, кроме первого, должны работать в период строительства и последующей эксплуатации ГТС. На территории будущего гидроузла должна также функционировать метеостанция для наблюдения за осадками и испарением с водной поверхности, температурой и влажностью воздуха, направлением и скоростью ветра.

В период изысканий необходимо выполнить обследование водоемника на возможность образования и прохождения селевых потоков. В русле водоемника выше по течению от створа должен быть исследован гранулометрический состав речных отложений, дан прогноз максимальных скоростей потока. Необходимо выполнить наблюдения за мутностью воды и

фракционным составом взвешенных наносов, определить расход влекомых наносов. Для расчета пропуска паводковых вод должны быть определены расходы обеспеченностью 10, 5, 3, 1, 0.1 и 0.01 %, их гидрографы и объемы стока. Гидрографы дождевого паводка совмещены с гидрографом половодья талых вод.

На линейных ГТС, имеющих большую протяженность (каналы), существует проблема пропуска расходов воды водотоков, пересекающих трассу ГТС. Сброс стока таких водотоков в канал приводит к заилению русла, к снижению пропускной способности и в итоге к переполнению и прорыву дамб каналов. Для разработки проектов устройства сооружений на водотоках, пересекающих каналы, необходимо для каждого водотока определить величину максимального расчетного расхода воды обеспеченностью 0.01%, гидрограф паводка и годовой сток наносов.

При производстве изысканий должны быть также обследованы зоны затопления в местах возможного разрушения ГТС. Необходимо определить величины гидравлической шероховатости поверхности территории, по которой будет протекать поток. На картах масштаба 10.000 или 5.000 должны быть показаны расположения всех населенных пунктов, производственные и сельскохозяйственные предприятия, ирригационные системы с сооружениями на них, ЛЭП, линии связи и другие объекты, а также контуры зон с различной гидравлической шероховатостью поверхности. Для определения границ зоны возможного затопления, необходимо через каждые 2-3 км. и в характерных местах по длине зоны, расположить расчетные поперечники и для каждого из них определить гидравлические характеристики (уклон дна, площади сечения, смоченный периметр, гидравлический радиус и средне взвешенную шероховатость для разных отметок поверхности), установить зависимость величины расхода воды от отметки затопления- $Q = f(\nabla)$.

Для разработки детального проекта ГТС по окончании гидрологических изысканий как минимум должны быть представлены:

- схема гидрометеорологической изученности бассейна гидрографические характеристики водоисточника.

- температура воздуха в районе строительства: средние, максимальные и минимальные значения по месяцам года.
- величина осадков (мм) по месяцам и суммарная за год различной обеспеченности (25, 50, 75 и 95%). Суточные максимумы вероятностью 0.5, 1, 3, и 10%.
- максимальные скорости ветра по месяцам и разным направлениям. Максимальная скорость ветра обеспеченностью 1, 3, 5, 10, 20 и 30 %.
- испарение с водной поверхности по месяцам года (мм/мес).
- годовой сток воды и внутригодичное его распределение различной обеспеченности.
- максимальные расходы воды и гидрографы паводков различной обеспеченности.
- среднегодовой и максимальный сток взвешенных и влекомых наносов.
- кривые емкости и площади зеркала водохранилища. Объем русла реки при прохождении паводка обеспеченностью 10 % в пределах чаши водохранилища.
- карта зоны затопления с выделением зон различной гидравлической шероховатостью.
- кривые зависимости расходов воды от глубины потока для расчетных створов, включая и зону затопления.

2.2 Инженерно-геологические и гидрогеологические условия [13,14,40,46].

Проекты всех потенциально опасных ГТС должны разрабатываться не менее чем в две стадии: ТЭО и РЧ. На стадии ТЭО выполняется выбор участка строительства, решаются вопросы расположения основных сооружений, карьеров местных строительных материалов, вопросы, связанные с созданием водохранилища, определяются расчетные горизонты воды (НПУ, МПУ и ГМО).

2.2.1 Задачи изысканий на стадии ТЭО:

- обоснование проектных решений на выбранном участке,
- оценка условий создания водохранилища при разных НПУ,

- оценка влияния ГТС на окружающую среду,
- обеспечение строительства местными строительными материалами.

Изыскания ведутся в два этапа. На первом изыскания выполняются для выбора варианта расположения гидроузла. Границы съемки на каждом участке должны располагаться не ближе 200 м от контура основных сооружений. На конкурирующих участках выполняется инженерно- геологическая съемка, горно-буровые и геофизические работы, гидрогеологические исследования, изучение физико-механических свойств пород, а также поисково-оценочные работы и предпроектные изыскания естественных строительных материалов.

На втором ведется детальное освещение инженерно-геологических условий выбранного варианта. В зависимости от особенностей геологического строения и характера рельефа долины реки разведку выполняют буровыми скважинами, шурфами, расчистками и штольнями. Разведкой должны быть освещены все геоморфологические элементы долины. Расстояния между выработками 50-100 м. Для бетонных сооружений расстояния меньше, чем для земляных.

Глубина скважин определяется мощностью активной зоны влияния сооружений на основание. Скважины должны обеспечить установление:

- глубины залегания коренных пород и водоупора,
- мощности четвертичных отложений и коренных пород, зоны выветривания, естественного разуплотнения,
- глубины залегания уровня подземных вод (УПВ),
- и другие элементы.

Ориентировочно при высоте плотины 20 м глубина скважин принимается равной 40 м, при высоте 100м – глубина скважин 100 м.

Длина штолен должна быть достаточной для оценки:

- положения кровли коренных пород,
- мощности зоны выветривания и разуплотнения,
- глубины развития обвально-оползневых процессов.

2.2.2 Геофизические исследования проводятся для:

- выделения и прослеживания в массиве пород зон тектонического дробления,
- уточнения геологического строения массива горных пород между выработками,
- разделения пород по степени трещиноватости, пористости, глинистости и водонасыщенности,
- определения параметров зон разуплотнения вокруг выработок и контроля за их изменениями во времени,
- оценки величины удельного отпора (для горных выработок расположенных в скальных грунтах),
- изучения свойств пород на участках проведения геомеханических опытов и уточнения экспериментальных зависимостей между прочностными и деформационными показателями с целью построения модели напряженно-деформированного состояния,
- определения неоднородности и анизотропии упругих, деформационных и прочностных свойств пород в естественных условиях.

К геофизическим методам относятся:

- сейсморазведочные работы профилирования и прозвучивания
- ультразвуковые исследования на образцах, в шурфах и скважинах,
- вертикальное электроразведывание ВЭЗ, электропрофилирование ЭП, естественного поля ЕП.
- каротаж.

Геофизические исследования проводятся:

- по оси ГТС, а также в створах верхнего и нижнего бьефов,
- по поперечникам (для сложных условий могут располагаться под углом к оси), в том числе профили вдоль русел рек,
- на бортах нормально к склону.

Геофизические исследования проводятся в комплексе с инженерно-геологической съемкой и гидрогеологическими работами. Изучение ведется для оценки внутренних частей среды (между выработками, между выработками и дневной поверхностью, каротаж). Исследования позволяют повысить достоверность интерпретации результатов, оценить физико-механические

кие свойства пород, устойчивость склонов, скорость движения подземных вод, положение уровня грунтовых вод УГВ, минерализацию и водонасыщенность пород, местоположение зон повышенной фильтрации. Исследования позволяют распространить лабораторные и точечные полевые испытания свойств пород на массив горных пород. По значениям продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, используя методику расчетов В.И. Бондарева и характеристики пород можно определить влажность, пористость, плотность, модуль деформации, угол внутреннего трения и сцепления грунтов (см. приложение 5).

2.2.3 Гидрогеологические исследования проводятся в объемах, необходимых для построения геофильтрационных моделей участка створа и проектирования на ее основе противофильтрационных и дренажных мероприятий, оценки агрессивности свойств воды, определения мест и объемов утечки воды из водохранилища (канала).

Геофильтрационная модель - это представленная в обобщенном и схематизированном виде совокупность гидрогеологических и других природных факторов, определяющих на изучаемом участке закономерности распределения величин напора, скоростей и расходов подземных и фильтрационных вод в естественных и техногенно нарушенных условиях. На модели должны быть выделены однородные по гидрогеологическим условиям участки.

Водопроницаемость водоносных и водообводненных пород, по которым в строительный и эксплуатационный периоды может происходить фильтрация в основании и в бортовых примыканиях водоподпорных сооружений должна быть охарактеризована по результатам опытно-фильтрационных работ. Опытно-фильтрационные работы выполняются для оценки водопроницаемости пород, выполнения водного баланса водохранилища, определения объемов утечек воды в нижний бьеф и в соседнюю долину.

Каждая разновидность пород должна быть опробована не менее чем в 3-5 скважинах. В нескальных обводненных породах выполняются одиночные опытные откачки на всю мощность водоносного пласта, если она не превышает 20 м и позонные,

если мощность пласта более 20 м. В необводненных породах выполняются наливывы в шурфы и скважины. В скальных породах выполняются сплошное опробование позонные нагнетания и наливывы в скважины. Для увязки фильтрационных характеристик скальных пород, определенных по результатам опытных нагнетаний и откачек, должны выполняться совмещенные опыты в количестве, не менее 5 для каждой литолого-стратиграфической разности.

Исследования водопроницаемости береговых примыканий, сложенных слабопроницаемыми породами, могут быть ограничены зоной развития рыхлых покровных отложений и выветренных пород. В породах средне и сильно водопроницаемых ширина зоны, подлежащей исследованию, должна составлять не менее 2-3 напором на плотине (считая от горизонтали подпора в глубь массива). Каждый элемент геофильтрационной модели, за исключением заведомо водоупорных пород, должен быть опробован в 30-70% выработок.

Для характеристики изменчивости химического состава и агрессивности подземных вод в течении года из каждого водоносного горизонта должно быть отобрано не менее 4-х проб воды для стандартных анализов.

Естественный уровень и гидрохимический режим водоносных горизонтов в зоне возможного влияния ГТС должен быть охарактеризован по данным стационарных наблюдений, выполняемых в течении всего периода изысканий, но не менее 1 года. Пьезометры для наблюдений должны быть расположены в верхнем и нижнем бьефах и на бортах по 6-10 скважин на каждом участке. Результаты наблюдений используются для построения карт гидроизогипс на разные моменты времени, включая максимальное и минимальное положение.

2.2.4 Физико-механические свойства грунтов, залегающих в основаниях ГТС, исследуются лабораторными, полевыми и геофизическими методами, а также используют прессиометрию и зондирование. Для бетонных плотин при исследовании сопротивления сдвигу и сжимаемости пород используются штампы. В скальных породах изучаются:

- физические свойства и временное сопротивление сжатию,
- параметры прочности при сдвиге ($tg\varphi$ и C) скальных целиков,
- прочность на сжатие и растяжение скальных грунтов в целиках,
- модуль деформации, коэффициент упругого отпора и уровень естественных напряжений, действующих в скальном массиве, методом компенсации (плоские домкраты),
- модуль деформации в скважинах методом прессиометрических испытаний.

Результаты лабораторных и полевых определений физико-механических свойств пород сопоставляются с результатами расчета этих показателей по геофизическим данным с целью уточнения констант в уравнениях В.И. Бондарева применительно к условиям данного ГТС.

2.2.5 Изыскания на стадии проекта и РЧ.

На стадии Проекта и РЧ инженерно-геологические съемки выполняются только в случаях необходимости корректировки данных ТЭО. Плотность выработок увеличивается в 1.5-2 раза, общий срок производства наблюдений за природными процессами доводится до 5-ти лет (1.5-2 года ТЭО, 1-1.5 года проект и РЧ- 1.5 года). Гидрогеологические исследования выполняются для уточнения расчетных значений параметров фильтрации, для этих целей используются кустовые откачки. Физико-механические свойства грунтов изучаются для каждого выделенного слоя, зоны или контакта 2-х слоев, если предполагается, что по ним может произойти сдвиг. Для изучения свойств грунтов используются все перечислены выше методы.

Нормы отбора проб грунта для лабораторных исследований принимаются аналогичные нормам отбора проб местных строительных материалов (см. п. 2.4).

2.2.6 По результатам выполненных изысканий, для разработки детальных проектов ГТС должны быть представлены следующая техническая документация:

- отчеты по инженерно-геологическим, гидрогеологическим и геофизическим исследованиям стройплощадки ГТС, чаши водохранилища, трассы канала.

- геологические профили и разрезы по каждому сооружению.
- карта фактического материала (план расположения с координатами и отметками устьев выработок). Колонки скважин и других выработок, составленных применительно к классификации грунтов (ГОСТ 25100-82). На колонках указываются дата, способ проходки, состав грунтов, номера проб, интервалы опробования, положение УПВ, выход керна и результаты опытных работ.
- инженерно-геологическая карта площадки расположения ГТС с показанием литологии и тектонических нарушений, гидрозогипс максимального и минимального положения УГВ.
- геофильтрационная модель основания применительно к расчетным разрезам и профилям.
- результаты лабораторных и опытных работ в поле по определению физико-механических свойств грунтов основания.
- данные опытных наливов, нагнетаний и откачек воды в выработках.
- химический состав грунтовых вод.
- расчеты потерь на фильтрацию с использованием геофильтрационных моделей основания.
- карта микросейсморайонирование района расположения ГТС, вероятностная оценка сейсмической опасности (кривая вероятности и расчетные акселерограммы). Данные о величинах скоростей продольных и поперечных волн в грунтах основания ГТС.

2.3 Оценка сейсмических условий расположения ГТС [24,41].

В районах с сейсмичностью более 6 баллов должна проводиться детальная оценка сейсмологических и сеймотектонических условий: микросейсморайонирование площадки расположения ГТС, прогноз возможных величин тектонических сейсмодетформаций, вероятностная оценка сейсмической опасности. Срок наблюдений не менее 1.5-2 года. В соответствии с [41] ГТС в зависимости от сейсмичности района расположения и

грунтовых условий основания рассчитываются на воздействия землетрясений силой 7-9 баллов. В зарубежной практике [16] в расчет принимаются два вида землетрясений: оперативное базовое (ОБЗ) и максимальное расчетное (МРЗ). Считается, что ОБЗ это «землетрясение без разрушений», случается оно один раз в 100-200 лет. После его воздействия ГТС может понадобиться ремонт, но оно способно функционировать. МРЗ это землетрясение, которое вызывает деформации ГТС в виде перемещений гребня. Сооружение после воздействия на него МРЗ должно сохранять запас над горизонтом воды и не допускать появления катастрофических последствий. Для ГТС 1-го и 2-го классов повторяемость МРЗ один раз в 10.000 лет.

Для оценки возможности разжижения грунтов при сейсмическом воздействии необходимо по профилю сооружения пробурить разведочные скважины, отобрать образцы грунта и определить гранулометрический состав. В отложениях песка и глины провести динамическое зондирование. По профилю сооружения провести сейсморазведку и определить скорости продольных и поперечных волн. Методика оценки возможности разжижения грунтов дана в приложении-6.

2.4 Изыскания естественных минеральных строительных материалов [33].

2.4.1 Изыскания естественных минеральных материалов для строительства ГТС имеют целью обеспечение песком и гравием для приготовления бетона, устройства дренажей и фильтров, грунтами для возведения плотин и дамб, камнем для упорных призм насыпных плотин, откосы откосов и креплений нижних бьефов водопропускных сооружений. Они включают в себя:

- поиск и изучение грунтов, расположенных в непосредственной близости от стройплощадки ГТС с оценкой их свойств и запасов для возможного использования в качестве строительных материалов.
- установление инженерно-геологических, гидрогеологических и технологических условий разработки грунтов (мощность

полезной толщи и вскрыши, обводненность возможность применения взрывных работ, необходимость сортировки и обогащения).

Наиболее перспективными являются месторождения, имеющие небольшой объем вскрыши (не более 15-20%), необходимые объемы грунтов соответствующего качества с полезной толщиной не менее 2.5 м и наносящие наименьший ущерб окружающей среде. Карьеры рыхлых грунтов не могут находиться ближе 300 м от котлована ГТС и 400-600 м для грунтов, разработка которых будет происходить с применением БВР. Наибольшее удаление карьера от строящегося ГТС 2-3 км при выполнении работ способами гидромеханизации и 10 км для других способов производства работ. Для всех без исключения строительных материалов должна выполняться радиационно-гигиеническая оценка в соответствии с нормами радиационной безопасности (НРБ-76).

Месторождения делятся на крупные с запасами > 1 млн. м³, средние 0.2-1.0 млн. м³ и мелкие < 0.2 млн. м³. Запасы материалов в зависимости от степени разведанности месторождения, изученности качеств грунтов и условий их разработки делятся на категории «А», «В» и «С₁», предварительные «С₂» и прогнозные «Р₁». Запасы оцениваются по наличию их в условиях естественного залегания, без учета потерь при добыче, транспортировки и обработки.

2.4.2 На стадии ТЭО разведка месторождений строительных материалов ведется по категории «С₁» и «В» (по 50%)+ С₁- для выбора варианта ГТС. Объемы запасов материалов определяются с коэффициентом -1.8 (для намывных ГТС-2). На стадии «РЧ» детальность разведки по категории «А» и «А+В» (25-50%) для менее ответственных целей. Коэффициент запаса - 1.2 (для намывных ГТС - 1.5-1.8). Изыскания по категориям «А» и «В» выполняются только при положительных результатах предварительной оценки (категории-С₁) и при наличии отвода земель под карьер.

Разведка месторождений ведется методами:

- шурфованием (при мощности полезной толщи до 10 м в необводненных грунтах).

- скважинами (для глин и песков применяются скважины -φ 168 мм, гравийных грунтов- φ 219 мм, грунтов с включением гальки и валунов- 325 мм).

Карьеры камня разведываются скважинами с отбором керна. Выход керна (отношение образцов длиной 10 см и более к общей длине рейса) должен быть не менее 80%. Если меньше: либо низкая прочность камня, либо низкое качество буровых работ.

- геофизические исследования (для определения глубины залегания, мощности, площади распространения полезной толщи).

Количество выработок при исследовании месторождений зависит от категории разведки, сложности геологических условий и мощности карьера. Сгущение выработок применяется при сложных геологических условиях и разведки карьеров с небольшим объемом запасов. В результате разведки месторождений строительных материалов должна быть представлена следующая техническая документация:

- колонки горных выработок, составленных применительно к классификации грунтов (ГОСТ 25100-82). На колонках горных выработок указывается дата, способ проходки, состав грунтов, номера проб и интервалы опробования, положение УПВ, выход керна и результаты опытных работ.

- геологические разрезы, на которых отражаются состав грунтов (применительно к ГОСТ 25100-82), их состояние, интервалы опробования, УПВ, контур подсчета объемов, а так же влажность отдельных слоев и полезной толщи, пластичность и влажность на границе раскатывания для глинистых грунтов, процентное содержание гравия, валунов и других компонентов для песчано-гравийных грунтов. На разрезах месторождения камня должны быть показаны зоны не выветрелых, слабо и сильно выветрелых пород, зоны тектонических нарушений. Линии разрезов должны проходить через выработки, в том числе включенные в подсчет объемов работ.

- план расположения выработок (карта фактического материала). Карты мощности вскрыши. Для участков, сложенных

грунтами, состав которых изменяется в горизонтальном и вертикальном направлениях, составляются карты-срезы. По обводненным карьерам составляются карты гидроизгипс.

- ведомость замеров УПВ в разведочных выработках с указанием наименования выработки, ее номера, даты замера и отметки УПВ. В ведомость также включаются посезонные отметки поверхности воды в ближайших водоемах, которые могут влиять на изменения УПВ карьера. Кроме того, в ведомость должны быть включены результаты опытных откачек и максимальные и минимальные значения коэффициента фильтрации (для обводненных карьеров).

- подсчет запасов строительных материалов методами параллельных сечений и методом треугольников.

2.4.3 После получения данных о инженерно-геологических, гидрогеологических, фильтрационных и других условиях месторождения и данных предварительных лабораторных исследованиях проб грунта, взятых из разведочных выработок в период изысканий, определяются виды необходимых проб грунта, места их отбора, количество и объемы масс грунта в каждой пробе, необходимые для выполнения полного комплекса полевых и лабораторных испытаний. Всего в зависимости от крупности месторождения и категории запасов должно быть отобрано не менее 8-25 проб для комплексных испытаний рыхлых грунтов и 20-45 проб скальных грунтов для получения 30-35 показателей физико-механических, фильтрационных и других свойств отдельно для каждой из 4-х разновидностей грунта (песок, гравий, камень и глина).

Кроме того, для каждого вида строительных материалов должно быть определено содержание вредных примесей в грунтах месторождения. К ним относятся низкопрочные породы, комья глины и частицы плитчатой формы в горной массе, пылеватые и глинистые частицы и частицы плитчатой формы, опал и аморфные соединения кремния в заполнителях для бетона, $\text{pH} < 6.5$ воды, модуль крупности песка для бетона, водно-растворимые и органические соединения в грунтах для устройства насыпей и другие (подробнее смотри приложение-7). По результатам

опробования месторождений строительных материалов должны быть представлены следующая техническая документация и составлено заключение о пригодности грунтов для возведения ГТС предусмотренных проектом:

- ведомости и графики гранулометрического состава грунтов, определение среднего взвешенного состава по горизонту разработки и месторождению в целом.
- графики зависимости коэффициента пористости грунтов от вертикальной нагрузки.
- результаты и графики компрессионных испытаний грунтов.
- результаты и графики сдвиговых испытаний грунтов.
- нормативные и расчетные значения параметров прочности грунтов
- показатели водно-физических свойств глинистых и других грунтов.
- результаты лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов в объеме ведомости видов испытаний (см. приложение-7).

2.5 Разработка детальных проектов.

Разработка детальных проектов возможна при наличии материалов ТЭО (проекта) утвержденных в установленном порядке, а также отчетов по гидрологическим, инженерно-геологическим и гидрогеологическим условиям, разведке и опробованию месторождений строительных материалов. Должны быть установлены и экономически обоснованы назначение ГТС, состав и типы сооружений, их параметры и компоновка.

2.5.1 В состав детального проекта входят:

- пояснительная записка к проекту.
- пояснительная записка к расчетам ГТС.
- комплект детальных (рабочих) чертежей основных сооружений, металлических конструкций и оборудования, контрольно-измерительной аппаратуры, системы раннего предупреждения и оповещения, специальных видов работ (буро-взрывных, цементационных и других), внутренних и подъездных автодорог

и других вспомогательных сооружений, необходимых для эксплуатации ГТС, чертежи электроснабжения.

- тендерная документация (тома общие и специальные технические условия, ведомости объемов работ и заказные спецификации на материалы и оборудование).

- декларация безопасности ГТС.

Примечание: Разработка чертежей металлоконструкций и механического оборудования в составе детальных проектов выполняется в стадии КМ. Детализованные чертежи (стадия КМД) выполняется заводом- поставщиком. Стоимость разработки КМД включается в стоимость продукции.

2.5.2 Для обоснования принимаемых технических решений в составе детального проекта должны быть выполнены как минимум следующие виды расчетов:

- расчеты пропуск максимальных расходов и назначение расчетных горизонтов воды.

- расчеты заиления и перестроения бьефов гидроузлов и водохранилищ.

- определения отметок гребня водоподпорных сооружений.

- расчет крепления откосов.

- гидравлические расчеты водосброса, водовыпуска, сооружений для пропуска строительных расходов и водопроводящих ГТС (каналов), включая неустановившиеся режимы течения, возникающие при изменении расходов и уровней воды (образование волн перемещений при маневрировании затворами), а также при включении или прекращении работы агрегатов НС и ГЭС.

- расчеты фильтрации через основание и тело ГТС, фильтрации на участках бортовых примыканий (плоская и плановая задача).

- подбор состава обратных фильтров.

- расчеты напряженно-деформированного состояния и осадок ГТС с учетом поэтапного его возведения.

- расчеты осадок и раскрытия деформационных швов элементов бетонных конструкций, проложенных под насыпью (для ГТС, в основании которых залегают породы четвертичного возраста).

- расчеты фильтрационного и взвешивающего давления обходной фильтрации на доковые конструкции поверхностных водосбросов.

- расчеты устойчивости ГТС.

- расчеты прочности конструкций ГТС.

Расчеты должны выполняться в соответствии с требованиями действующих СНиП, ГОСТов, ВСН, Пособий и другой технической литературы, согласованных с Заказчиком. По результатам расчетов составляется ведомость контролируемых показателей с величинами их предельных значений.

2.5.3 Требования к размещению КИА [9,45].

Измерительная аппаратура в сооружении должна быть размещена таким образом, чтобы для каждого контролируемого количественного показателя имелась возможность вести наблюдения за изменениями его значений. Проект размещения должен охватывать все сооружения гидроузла и их основания. На линейных сооружениях, имеющих большую протяженность (плотины, дамбы, каналы), наблюдательные створы необходимо размещать через каждые 300-500 м по длине ГТС, а также в местах изменения высоты сооружения, геологических и гидрогеологических условий оснований, смены конструкции противофильтрационных устройств. Измерительные преобразователи также следует устанавливать в местах наиболее «чувствительных» к изменениям состояния конструкции или, в которых по данным расчетов показатели имеют максимальные значения. К зонам повышенной «чувствительности» относятся: крупные трещины и разломы в скальных породах основания, участки ослабленных пород, примыкания плотин к скальным бортам, сопряжения различных сооружений, места приложения сосредоточенных нагрузок, температурно-осадочные и блочные швы бетонных конструкций, места возможной контактной фильтрации, участки изменения конфигурации сооружений и изменения характера напряжений, зоны переменного влажностного и температурного режимов. С учетом возможного преждевременного выхода из строя отдельных измерительных преобразователей в

вышеуказанных зонах их следует устанавливать группами из 2-3 шт. или дублировать измерения разными способами.

В составе проекта размещения КИА должен быть специальный раздел, посвященный производству наблюдения в строительный период. К таким наблюдениям для сооружений из бетона относятся: температурный режим бетона и термонапряженное состояние бетонных конструкций, раскрытие швов и трещин, для грунтовых сооружений: осадки элементов насыпи и режим грунтовых вод в зоне расположения ГТС, величина порового давления и другие.

В составе проекта размещения КИА должны быть разработаны РЧ гидрометрических постов на водотоках и локальных водомерных устройств в местах выхода на поверхность грунтовых вод.

2.5.4 Тендерная документация.

В общих и специальных технических условиях тендерной документации отражаются условия взаимоотношений Подрядчика и Заказчика, требования к строительным материалам и подробные конкретные технические условия на производство всех видов строительно-монтажных работ, необходимых для качественного возведения ГТС.

Разработка проектов производства работ, обеспечения техники безопасности, разработки карьеров, устройство и содержание строительных дорог, обеспечение стройки строительными материалами, водой, сжатым воздухом и электроэнергией, строительство объектов базы строительной индустрии и других вспомогательных объектов входит в обязанность Подрядчика.

В составе детальных проектов сметы на выполнение строительно-монтажных работ и приобретение оборудования не составляются. Для определения стоимости работ при заключении контрактов используются ведомости объемов работ и спецификации оборудования тендерной документации, которые составляются в форме смет без включения единичных стоимостей и определения стоимости затрат Подрядчика. Объемы делятся на части, для которых описываются способы работ, применяемые механизмы и дальность транспортировки, и другие сведения.

Подрядчик сам определяет стоимость работ, которую должен согласовать ему Заказчик, при заключении контракта. Примерное содержание томов тендерной документации дано в приложении 8.

2.5.5 Декларация безопасности ГТС.

В странах, где принят и действует закон «О безопасности ГТС», проектные организации обязаны в составе детальных проектов представлять «Декларацию о безопасности ГТС». На завершающей стадии строительства, до ввода ГТС в эксплуатацию, и в период последующей эксплуатации, через каждые 5-ть лет, «Декларация безопасности ГТС» составляется службой эксплуатации ГТС (кроме первой редакции декларации, входящей в состав проекта) и представляется в государственные органы на рассмотрение. Содержание декларации определяют государственные ведомства, контролирующие безопасность ГТС, тем не менее, в обязательном порядке в нее включаются разделы, посвященные анализу состояния ГТС с использованием критериев безопасности, оценки уровня риска аварии и план действий обслуживающего персонала ГТС в аварийных ситуациях.

Содержание «Декларации безопасности ГТС» для республики Узбекистан дано в приложении 9.

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА.

3.1 Разработка проекта производства работ (ППР).

Подрядчик, который выиграл тендерные торги, до заключения контракта обязан разработать проект производства работ и представить его на утверждение Заказчику. Основой ППР является календарный график выполнения работ, в котором для каждой позиции ведомости объемов работ и спецификаций оборудования показывается время начала и окончания строительно-монтажных работ с разбивкой по месяцам, определяется состав и количество необходимой строительной техники, рабочих, объемы и сроки поставки основных строительных материалов и

оборудования, потребность стройки в воде, сжатом воздухе и электроэнергии. Вопросы состава объектов базы строительной индустрии, их дислокации, схемы движения автотранспорта и размещения подсобных предприятий Подрядчик решает самостоятельно. К календарному графику прикладывается подробная пояснительная записка с обоснованием принимаемых решений. ППР должен полностью соответствовать требованиям общих и специальных технических условий тендерной документации.

3.2 Вопросы обеспечения качества строительных материалов.

До начала строительных работ Подрядчик обязан выполнить контрольную разведку и опробование месторождений строительных материалов и определить их соответствие проектным данным. В соответствии с принятой в ППР схемой разработки карьера, уточнить гранулометрический состав грунтов, решить вопрос с необходимостью устройства промежуточного склада для повышения однородности материалов и доведения их до требуемой влажности, а также для обеспечения требуемого гранулометрического состава грунтов.

3.3 Оперативный контроль укладки грунтов и бетона [11,18].

Существующие методы контроля качества укладки грунтов и бетона при возведении ГТС не всегда обеспечивают полный и своевременный контроль технологии производства работ. Из-за неоднородности материалов месторождений максимальная плотность грунтов, укладываемых в ГТС, может иметь разброс численных значений достигающих 10 % и более. Время, которое требуется лаборатории для определения контролируемых характеристик грунтов, может достигать несколько рабочих смен, что приводит к снижению темпов производства и качеству работ.

При производстве бетонных работ отбор и изготовление контрольных образцов бетона производится, как правило, у бетонного завода, хранение образцов осуществляется в лабораторных условиях. Влияние на качество бетона условий транспортировки и укладки бетонной смеси, а также температурных и влажностных условий в период набора прочности, результаты

лабораторных испытаний учесть не могут. Поэтому, помимо стандартных методов контроля качества, при возведении крупных ГТС, имеющих большие объемы, достаточно оснащенные лаборатории и штат квалифицированных специалистов, разрабатываются оперативные методы контроля качества работ. Из-за большого разнообразия свойств строительных материалов, оперативные методы контроля не могут быть универсальными и должны проходить апробацию применительно к условиям каждой отдельно взятой стройки. Оперативные методы контроля не исключают использование нормативных методов и должны применяться одновременно с ними.

Примеры оперативных методов контроля качества укладки грунтов и бетона даны в приложение 10.

3.4 Исполнительная документация по строительно-монтажным работам.

3.4.1 В период производства строительно-монтажных работ Подрядчик обязан вести исполнительную документацию по всем видам работ. В ее основу должны быть положены рабочие чертежи, приведенные на них планы, профили и сечения отдельных элементов ГТС. На исполнительных чертежах необходимо показать проектное и фактическое планово-высотное положение выполненных элементов конструкций, определить фактически выполненные объемы работ. Скрываемые части конструкций освидетельствуются комиссией Заказчика и Подрядчика с оформлением актов выполненных работ.

3.4.2 По мере вскрытия котлована ГТС до проектных отметок, составляется геологическая документация основания, на которой показывается литология, тектонические нарушения, места отбора проб для определения физико-механических и фильтрационных свойств грунтов в условиях естественного залегания.

3.4.3 После вскрытия котлована до проектных отметок выполняется комплекс подготовительных работ. К таким работам относятся:

- устройство слоя подготовки из бетона или другого материала.

- установка анкеров в основание, монтаж арматуры и укладка бетона в плиту для работ по цементации или устройства для этих целей специальной галереи.

- выполнение работ по цементации и конструкциям дренажа в основании.

- закладка в основание КИА.

По каждому виду перечисленных работ составляется отдельная исполнительная документация.

3.4.4 Каждый установленный в основание анкер должен иметь планово-высотную геодезическую привязку. По нормам, установленным техническими условиями тендерной документации, выполняются приемочные испытания несущей способности анкеров. Результаты испытаний оформляются актами.

3.4.5 После монтажа арматуры для каждого отдельного бетонного блока, составляется документация, в которой отражается расположение стержней арматуры в плане и по высоте блока, диаметры и класс, детали соединений, места отбора образцов сварных швов для лабораторных испытаний, объемы работ.

3.4.6 Исполнительной документацией для бетонных работ является паспорт блока, форма и содержание которого устанавливает Заказчик. В паспорт заносятся сведения о размерах блока, его объеме, высоте укладываемых слоев, дата и время начала и окончания бетонирования, проектные характеристики бетона (марка, рабочий состав, осадка конуса), дата изготовления контрольных образцов бетона, их число, маркировка, сроки и результаты испытаний образцов, температура наружного воздуха во время бетонирования и бетонной смеси при укладке, тип опалубки и дата ее снятия с конструкции, типы и количество вибраторов. Если на поверхности блока после укладки бетона появляются трещины, они должны быть нанесены на схему блока, прилагаемой к паспорту.

Результаты испытания образцов бетона Подрядчик представляет Заказчику в виде ежеквартальных и итогового годового отчетов.

3.4.7 В состав исполнительной документации по цементационным работам входят:

- полевой журнал.

- журнал цементации с включением результатов гидравлического опробования скважин.
- акты с результатами цементации контрольных скважин.
- схема расположения скважин и их номера.
- акт на ликвидацию скважин.

Полевой журнал, журнал цементации и акт на цементацию контрольных скважин составляется Подрядчиком в процессе производства работ, а схема расположения скважин после окончания работ на участке. Акт на ликвидацию скважин составляется специально назначенной комиссией. В полевом журнале отмечаются все детали производственного процесса в хронологическом порядке с указанием времени суток и даты работ, а также любые замечания, наблюдения и все непредвиденные обстоятельства, имеющие место в ходе выполнения работ.

По результатам бурения скважин предоставляется следующая информация:

- номер скважины и плано-высотное положение ее устья.
- ход выполнения буровых работ, используемое оборудование, диаметр скважины и обсадных труб, начало и конец работ.
- результаты наблюдений за циркуляцией бурового промывочного раствора, горизонты воды в скважине в начале и конце каждой рабочей смены, а также статический уровень грунтовых вод при длительных перерывах в ходе бурения.
- глубина отбора керна и % его выхода (для скважин с отбором керна).

В журналы цементации заносится следующая информация:

- номер и местоположение скважины, отметки верха и низа зоны нагнетания.
- результаты гидравлического опробования: интервалов нагнетаний, давления нагнетания и результирующие расходы.
- состав цементного раствора, включая добавки инертного заполнителя.
- величина В/Ц и давления нагнетания, продолжительность нагнетания и объем поглощенного раствора
- описание промывочных операций, случаи сообщения с другими скважинами, причины перерывов в ходе цементации.
- данные о тампонаже скважин.

3.4.8 При отсыпки грунтов в насыпи выполняется геодезическая съемка профилей и поперечников по сооружению с определением объемов работ по каждому виду отсыпаемого грунта и указанием мест отбора проб грунта для лабораторных испытаний. Количество отбираемых проб грунта и видов испытаний зависит от методов контроля принятых на стройке. В обязательном порядке должны определяться гранулометрический состав грунтов, плотность, влажность и пластичность (для глинистых грунтов), пористость, прочностные показатели ($\text{tg } \varphi$ и C), коэффициент уплотнения. Результаты испытания грунтов передаются Заказчику в виде ежеквартальных и итогового годового отчетов.

3.4.9 Исполнительная документация на монтаж закладной контрольно-измерительной аппаратуры и ее коммуникаций может включаться в исполнительные чертежи отсыпаемых слоев грунта или блоков бетонирования возводимых сооружений. Такие приборы как геодезические репера, марки и знаки, а также пьезометры устанавливаются после возведения ГТС. их местоположение показывается на общем плане ГТС, на профиле и сечениях.

3.5 Проведение исследований в период строительства.

3.5.1 Наблюдения за гидрологическим режимом реки и климатом.

В период строительства не должны прекращаться наблюдения за гидрологическим режимом реки и климату. На месте временных гидропостов наблюдения, установленных в период разработки проекта, должны быть построены постоянные в соответствии с выданными рабочими чертежами и на площадке расположения ГТС сооружена местная метеостанция. Организация наблюдений входит в обязанность Заказчика.

3.5.2 Натурные наблюдения за состоянием ГТС.

В период строительства наблюдения, с использованием средств КИА начинаются сразу после установки первых закладных приборов. На ГТС, возводимых из бетона, наблюдения ведутся за температурным и термо-напряженным состоянием бетона, на ГТС, возводимых из грунтов, - за осадками элементов

насыпи и режимом грунтовых вод в створе сооружения и его бортовых примыканиях. Программа проведения наблюдений в период строительства должна быть представлена Проектировщиком в составе пояснительной записке к рабочим чертежам.

3.5.3 Опытные и экспериментальные работы в период строительства.

До начала работ по возведению грунтовых сооружений Подрядчик обязан провести необходимые опытные и экспериментальные работы по организации промежуточных складов хранения материалов, устройству опытных насыпей, отработки оперативных методов контроля качества грунтов. При проведении этих работ проходят испытания все виды строительной техники, которую Подрядчик должен использовать при возведении ГТС.

Работы по цементации грунтов основания так же должны начинаться с проведения опытных работ на отдельных участках завесы или площадной цементации. В период этих работ подбираются составы растворов и добавок к ним, уточняются требования к материалам, проходят апробацию оборудование, расстановочные узлы и система коммуникаций.

Отчеты по этим работам передаются Заказчику на согласование.

3.5.4 Дополнительный контроль качества работ.

Когда в период строительства ГТС возникают сомнения в качестве работ, по требованию Заказчика проводятся дополнительные исследования с использованием геофизических методов или выполнения специальных выработок, либо оба вида работ одновременно. Для грунтовых сооружений используются методы электроразведки, производят проходку шурфов и скважин. Для бетонных сооружений - ультразвуковые методы и бурение скважин с отбором керна.

Качество работ по цементации проверяется закладкой контрольных скважин.

3.6 Пуско-наладочные работы.

Работы по монтажу основного технологического оборудования и проведению его контрольных испытаний проводятся,

как правило, специалистами завода «поставщика» по контракту с Заказчиком. Целью этих работ является соблюдение всех требований завода изготовителя оборудования, предъявляемых к монтажным работам, устранение мелких дефектов оборудования, обнаруженных при монтаже, устранение вибрации при работе оборудования, уточнение правил его эксплуатации и получение подтверждения того, что при работе оборудования на всех режимах обеспечиваются требуемые технические показатели.

3.7 Авторский (технический) надзор в период строительства.

Для контроля качества строительно-монтажных работ Заказчик может привлекать для осуществления авторского надзора специалистов проектной организации, участвующих в разработке проекта, а также отдельных специалистов для осуществления технического надзора. Надзор может быть постоянным с ежедневным пребыванием специалистов на стройке, так и эпизодическим по вызову Заказчика. Специалисты, ведущие надзор, ведут журнал наблюдений, в котором отмечаются все обнаруженные дефекты и дают рекомендации по их устранению. Журналы авторского (технического) надзоров входят в состав обязательных документов при сдаче ГТС в эксплуатацию.

3.8 Отчет о строительстве ГТС.

По завершению строительства, Подрядчик обязан передать Заказчику отчет о строительстве ГТС. В этот отчет включается вся исполнительная документация, составленная в период строительства, отчеты по опытным и экспериментальным работам, результаты лабораторных испытаний грунтов и строительных материалов, с распределением по отдельным зонам и элементам ГТС, журналы технического надзора и отметками об исправлении обнаруженных дефектов, а также подробное итоговое заключение о качестве выполненных работ по ГТС в целом.

По материалам отчета Заказчик должен привлечь Проектировщика для уточнения расчетов, выполненных по ГТС на стадии рабочих чертежей, уточнения состава контролируемых показателей и величины их предельно-допустимых значений, а также корректировки декларации безопасности ГТС. Ввод ГТС в

эксплуатацию возможен только после рассмотрения и утверждения этой декларации исполнительными органами, осуществляющими контроль безопасности ГТС.

4 ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГТС В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ.

4.1 Обследование состояния ГТС [15, 16].

Безопасность ГТС в период эксплуатации зависит от постоянного и полного учета изменений значений контролируемых показателей, своевременного анализа данных, корректировки статистических зависимостей и значений диагностических показателей. Под действием внешних нагрузок в грунтах оснований, теле ГТС и бортовых примыканиях происходят изменения: скальные породы размягчаются и увеличивается их водопроницаемость, в крупнообломочных и песчаных грунтах изменяются показатели сопротивления сдвига и деформаций, появляются участки повышенной фильтрации и суффозионных размывов, в сжимаемой толще связных грунтов происходит уплотнение и изменение влажности.

Необходимо определить размеры области воздействия и характер изменений, которые произошли в грунтах тела и основания ГТС и его бортовых примыканиях, а также наличие и активность развития опасных геологических процессов природного и техногенного генезиса, степень их воздействия на безопасность ГТС.

Обследование должно выполняться путем непрерывного осмотра местности между точками наблюдений, количество которых зависит от степени сложности условий и наличия или отсутствия каких-либо отрицательных явлений. На участках проявления сложных геологических процессов производится сгущение точек наблюдения.

Обследование тела плотин и дамб каналов начинают с осмотра гребня. Фиксируются наличие трещин, размывов, просадок и оползневых явлений. По верховому откосу следует обра-

щать внимание на наличие оползневых явлений, выпора бетонного крепления, состояние крепления в зоне действия волн и льда. Геометрия верхового откоса и отметки поверхности отложения наносов ниже уровня воды устанавливается путем промеров по поперечникам на расстоянии 10-20 м друг от друга.

По низовому откосу необходимо отслеживать участки выпора грунта, суффозионного выноса, выходов профильтровавшейся воды, мокрых пятен, оплывин, а также ходов землеройных животных. При обследовании территории, примыкающей к низовому откосу (полоса шириной 2-3 максимальных напора) выявляются наличие суффозионных проявлений, родников, участков заболачивания и яркой зелени. Оценивается состояние конструкций дренажа и отводящей сети.

Обследование береговых примыканий производится как со стороны верхнего, так и нижнего бьефов в полосе шириной не менее 2-3 высоты плотины. Обследование проводится с отметок на 2-5 м выше МПУ, при этом фиксируются любые проявления водопоглощения на участке верхового откоса, а также выходы родников и суффозионного размыва на участке низового откоса. Кроме того, фиксируются повреждения склонов ветровыми волнами, наличие оползней, осыпей и карста.

При обнаружении выходов воды выполняются замеры ее расходов, отбираются пробы воды для определения мутности и химического состава. Для сравнения одновременно берутся пробы воды из водохранилища и из реки в нижнем бьефе.

При обследовании бетонных сооружений (водовыпусков, водосбросов и др.) оценивается состояние сопряжений с грунтом тела плотины на предмет наличия контактного размыва. Определяется наличие неравномерных осадок и наклонов отдельных элементов, трещин в бетоне, чрезмерное раскрытие деформационных швов, разрушения бетона. Оценивается состояние водобоя, рисбермы и примыкающих участков канала. На каналах обследование выполняется по обоим берегам. Оценивается состояние крепления, устойчивость откосов, наличие оползней и деформации русел каналов, фиксируются места высачивания воды.

Выполняется оценка состояния механического и электрического оборудования: затворов, задвижек, кранов, подъемных механизмов, металлоконструкций, силовых кабелей, систем освещения и другого вспомогательного оборудования. Оценивается надежность электроснабжения, состояние резервного электрогенератора.

Обследуется состояние приборов и коммуникаций контрольно-измерительной аппаратуры. Определяется количество действующих и вышедших из строя приборов, чувствительность приборов, состояние систем сбора данных, водомерных устройств для замера расходов дренажных вод и расходов поверхностных вод реки.

В регионах развития карстовых процессов возможно образование новых карстовых форм за счет изменения условий дренирования вод из-за создания сооружением дополнительного напора.

В районах развития оползней описываются формы смещений, видимая мощность оползневых накоплений, формы оползневого рельефа, общие контуры оползневых тел, выявляются факторы, способствующие возникновению оползней. Если на оползневом склоне имеются противооползневые сооружения, описываются их состояние и эффективность работы.

В районах распространения лессовидных пород необходимо описать формы микрорельефа, связанные с проявлением просадочных свойств пород, причину возникновения просадок и условия поверхностного стока воды со склонов.

На заболоченных участках устанавливаются контуры болот в плане, условия питания и дренирования болот, характер растительности, наличие бугров сезонного пучения.

По результатам обследования можно выполнить оценку состояния сооружений и приоритетности ремонтных работ, используя систему относительной опасности в баллах [16] (см. табл. 9 и 10).

Приоритетность восстановительных работ может быть определена по величине произведения (НхR), используя данные таблицы 11.

Таблица 9

Опасность	Балл (H)
Авария, которая может повлечь за собой возникновения риска для ГТС и ниже расположенной территории.	5
Авария, которая может повлечь за собой возникновения риска для обслуживающего персонала ГТС.	4
Авария, которая может привести к перебоям в подачи воды на орошение либо в энергоснабжении.	3
Авария, которая может привести к необходимости выполнения ремонта.	2
Авария, которая не вызывает серьезных последствий.	1

Таблица 10

Риск	Степень риска (R)
Неотвратимый	3
в течении 5 лет	2
в перспективе	1

Таблица 11

HxR	Рекомендуемые действия.
1-2	Продолжать наблюдения, нет необходимости оперативных действий
3-5	Планировать ремонт в течении 5 лет
6-8	Планировать ремонт в текущем году.
9-12	Необходим безотлагательный ремонт
15	Аварийная ситуация, понизить уровень воды верхнего бьефа, немедленно приступить к ремонту.

4.2 Инженерные изыскания.

Если в результате обследования и изучения материалов проекта будет установлено, что на исследуемой территории произошли существенные изменения, а данные по предыдущим изысканиям либо устарели, либо отсутствуют, должны быть проведены новые инженерные изыскания в соответствии с требованиями разделов 2.2, 2.3 и 2.4 данных «рекомендаций».

4.3. Геодезическое обеспечение изыскательских работ.

Работам по проведению изысканий должны предшествовать работы по инженерно-геодезическому обеспечению, в состав которых входят:

- составление исполнительных карт обследуемой территории масштаба 1:500 и крупнее.
- обновление топогеодезических планов. При изменении ситуации и рельефа более чем на 35% площади, съемка выполняется заново.
- привязка инженерно-геологических выработок и геофизических точек.
- геодезические работы по изучению опасных геологических процессов (оползни, переработка берегов).
- обмерные работы по восстановлению общих чертежей ГТС.

4.4. Натурные наблюдения за состоянием ГТС [19,48].

Натурные наблюдения за работой и состоянием ГТС и их оснований проводятся для оценки безопасности сооружений, своевременного выявления дефектов, назначения ремонтных мероприятий, предотвращения аварий и улучшения условий эксплуатации. Состав и объем наблюдений зависят от класса ГТС, его конструктивных особенностей, геологических, гидро-геологических и других природных условий, а также от состава КИА и требований эксплуатации. Не зависимо от этого, на всех без исключения потенциально опасных ГТС должны выполняться:

4.4.1 Наблюдения за вертикальными осадками и горизонтальными перемещениями.

Возведение ГТС связано с ростом дополнительных нагрузок на основания от собственного веса ГТС и давления воды, что приводит к возникновению деформаций. Грунты земляных плотин и дамб под действием этих нагрузок в процессе их возведения и эксплуатации также уплотняются, что приводит к сниже-

нию их высоты (осадки) и создает угрозу перелива воды через гребень.

Очень важно вести наблюдения за осадками тела грунтовых ГТС в строительный период, чтобы откорректировать строительную высоту ГТС, назначенную в проекте. Под действием давления наносов и гидростатического давления воды, кроме вертикальных деформаций, ГТС получают горизонтальные смещения. У грунтовых сооружений основания, как правило, неподвижны, а наибольшие смещения имеет гребень. Бетонные сооружения работают на сдвиг, поэтому у них наблюдаются перемещения не только гребня, но и подошвы, а также наклоны и повороты отдельных секций, раскрытие швов и трещин. Наибольшие деформации ГТС возникают при максимальных уровнях воды в верхнем бьефе. Деформации бывают двух видов: остаточные (осадки) и упругие, которые при снижении уровня воды (нагрузки) приобретают отрицательные направления и восстанавливаются.

Программы натурных наблюдений должны учитывать эти особенности работы ГТС. Для оценки возможности перелива воды через гребень и получения необходимых данных для статистических расчетов, наблюдения следует проводить при подъеме и последующим снижении уровня воды (один-два раза в месяц) при горизонтах близких к максимальным. Для того, чтобы можно было разделить деформации на упругие и остаточные, одно наблюдение необходимо выполнить в конце вегетационного периода, когда уровни воды верхнего бьефа минимальные.

4.4.2 Наблюдения за поверхностью грунтовых вод, напорами и расходами фильтрации.

В грунтовых сооружениях фильтрация имеет свободное течение. Депрессионная поверхность потока имеет сложную форму, которая постоянно меняется из-за колебаний уровня верхнего бьефа. В основании бетонных сооружений фильтрация протекает в напорном режиме, поэтому сооружение, кроме фильтрационного, испытывает еще и взвешивающее давление воды.

Режим фильтрации оказывает определяющее влияние на устойчивость ГТС и фильтрационную прочность грунтов его тела

и основания. Наблюдения за режимом фильтрации должны вестись постоянно без перерывов, независимо от положения уровня воды в верхнем бьефе и давать информацию не только о величине напоров фильтрационного потока в точке наблюдения, но и об отметках поверхности кривой депрессии как в теле грунтовых ГТС, так и на участках бортовых примыканий. Данные об отметках поверхности кривой депрессии и величинах напора в отдельных точках фильтрационного потока позволяют проверить правильность составления фильтрационных моделей «сооружение-основание», построенных для расчетных сечений плотины.

Другим важным вопросом наблюдений за фильтрацией является определение расходов грунтового потока. В зоне действия подпорного сооружения выклинивающаяся на поверхность грунтовая вода является лишь частью общего расхода фильтрации. В зависимости от водопроницающей толщи основания, большая часть расходов грунтовых вод может протекать, не выклиниваясь на поверхность. Поэтому общий расход фильтрации можно определить только путем расчетов фильтрационной модели и сопоставления результатов расчета с данными наблюдений за расходами дренажной системы, расходами отдельных родников в акватории ГТС и наблюдениями за уровнем грунтовых вод в долине реки ниже гидроузла.

Проект размещения КИА каждого конкретного ГТС должен учитывать эти особенности.

4.4.3 Наблюдения за поровым давлением в основании и противифльтрационных элементах грунтовых плотин [1,42].

Поровое давление возникает в глинистых грунтах основания и тела земляных плотин в процессе их уплотнения под действием собственного веса (вышележащей части ГТС) и давления воды со стороны верхнего бьефа. Поровое давление оказывает влияние на устойчивость ГТС и осадку грунтовых плотин, являясь дополнительной сдвигающей силой. Оно возникает в глинистых грунтах основания мягкопластичной, текучепластичной и текучей консистенции и в противифльтрационных элементах плотин высотой более 40 м, возведенных из мелкопористых

грунтов со степенью влажности $G \geq 0.85$ и коэффициенте фильтрации $K_{\phi} \leq (5-10) \times 10^{-6}$ см /с. Поровое давление не учитывается, если коэффициент консолидации $\delta \geq 1 \times 10^{-7}$ см²/год. Обычно консолидация грунта завершается в первые 10 лет эксплуатации сооружения, и поровое давление исчезает, но на отдельных особо крупных плотинах может сохраняться по несколько десятков лет. Для того, чтобы можно было иметь надежные данные о наличии или отсутствии порового давления в основании и теле ГТС, необходимо во всех потенциально опасных сооружениях 1-3 классов иметь не менее одного створа, оборудованного соответствующими преобразователями.

4.4.4 Наблюдения за максимальными расходами воды водосточника и объемами стока гидрографов паводков.

Основной задачей службы эксплуатации ГТС является забор и распределение между потребителями имеющихся в наличии водных ресурсов. Максимальные срочные расходы определяются в проекте. Для их пропуска предусматриваются специальные сооружения в составе гидроузлов. Далее в период эксплуатации величины максимальных расчетных расходов, как правило, больше не корректируются. Опыт эксплуатации ГТС [2,3] показывает, что такая практика часто бывает ошибочной и угрожает безопасности сооружений.

Для организации наблюдений за максимальными расходами требуется установка нескольких приборов, способных постоянно фиксировать уровни (отметки) воды в верхнем бьефе ГТС и в нижнем на водозаборных и водосбросных отводящих каналах. Зная в определенные промежутки времени расходы воды, забираемые потребителями и идущими в сброс, а также суммарный объем воды, который находится в эти промежутки времени в верхнем бьефе сооружению, можно решая обратную задачу вычислить объем стока паводка и его максимальный срочный расход.

Накопление данных о максимальных срочных расходах позволит в итоге более надежно и постоянно решать задачу по уточнению максимальных расчетных расходов и принимать необходимые меры по повышению безопасности ГТС.

4.4.5 Наблюдения за параметрами ветровых волн перед плотинами и волн неустановившегося движения воды в каналах.

Организация таких наблюдений необходима для оценки вероятности перелива воды через гребень водоподпорных сооружений. Методика расчета ветровых волн заложенная в [44] весьма сложная, использует многочисленные поправочные коэффициенты. Она универсальная, так как позволяет определять параметры ветровых волн во всех как естественных, так и искусственных водных акваториях. Проверка достоверности результатов таких расчетов, как правило, не выполняется. Аномалии климата последних лет требуют, в целях повышения безопасности ГТС, организацию таких наблюдений.

Необходимо на водоемах, где наблюдаются ветровые волны, около ГТС установить рейки для определения высоты волн и высоты наката их на откос плотины, а также флюгер для определения направления и скорости ветра. При уровнях воды в верхнем бьефе близких у НПУ и выше, в ветреную погоду необходимо в течении получаса фиксировать параметры волн и скорости ветра. Статистическая обработка данных наблюдений совместно с данными о деформациях ГТС позволит решать задачи определения вероятности перелива воды через гребень ГТС.

Аналогичным образом необходимо организовывать наблюдения за волнами неустановившегося движения воды в каналах, режим эксплуатации которых допускает резкие изменения (как увеличение, так и снижение) расходов и напоров воды. Только вместо наблюдений за параметрами ветра, на каналах необходимо фиксировать высоту волн и скорости закрытия затворов перегораживающих сооружений, включение и отключение агрегатов НС или ГЭС.

4.4.6 Наблюдения за скоростью подъема и снижения уровня верхнего бьефа ГТС.

При подъемах уровня воды верхнего бьефа, подъем уровня грунтовых вод в теле и бортовых примыканиях грунтовых плотин происходит с меньшей скоростью, что приводит к повышению градиентов напора и снижению фильтрационной прочности

грунтов ГТС. Поэтому для каждого ГТС необходимо знать свои предельно-допустимые значения скорости подъема УВБ. Снижение уровней воды так же может приводить к негативным последствиям. Бетонные крепления верхних откосов грунтовых ГТС при резких снижениях уровня воды под действием гидростатического давления деформируется, разрушается конструкция стыков плит. Иногда происходит смещение плит и полное разрушение крепления. Деформации крепления сопровождается смещениями грунта по откосу и потерей устойчивости откосов на локальных участках.

Наблюдения за скоростью подъема и снижения уровня верхнего бьефа призваны определить допустимые значения таких скоростей, исключить явления суффозии грунтов и деформации бетонных креплений откосов.

4.4.7 Наблюдения за заилением чаш водохранилищ, аванкамер НС и деформациями русел рек и каналов.

Водный поток естественных водотоков содержит взвешенные и влекомые наносы. Когда такой поток попадает в водохранилище или аванкамеру НС, где скорости движения воды близки к нулю, наносы выпадают в осадок, сокращая их объем. Заиление водохранилищ снижает их водоотдачу. При пропуске паводков, из-за уменьшения объемов трансформации, повышается величины расходов и горизонтов воды. Все это, в конечном счете, приводит к повышению вероятности перелива воды через гребень ГТС.

Заиление аванкамер насосных станций снижает технические характеристики агрегатов. Деформации русел рек и каналов сопровождаются повышением их гидравлических сопротивлений и к снижению пропускной способности.

Необходимо периодически выполнять повторные топографические съемки чаш водохранилищ, аванкамер НС и ГЭС, русел каналов для корректировки величин их контролируемых показателей и разработки мероприятий по восстановлению работоспособности этих сооружений.

4.4.8 Определение фактической пропускной способности водопропускных сооружений.

В период временной эксплуатации ГТС должны проводиться экспериментальные работы по определению гидравлических сопротивлений водоводов, фактической пропускной способности каждого в отдельности отверстия и водопропускных сооружений в целом. Это позволит своевременно выявить дефекты проекта или строительных работ, разработать и осуществить необходимые мероприятия по повышению безопасности ГТС. Методика выполнения таких работ подробно изложена в научных трудах В.А. Скрыльникова [36].

4.4.9 Наблюдения за состоянием механического и другого оборудования, трубопроводов, средств АСУ, оценка надежности энергоснабжения ГТС.

Поломки механического оборудования водопропускных сооружений, агрегатов НС и ГЭС приводят к снижению пропускной способности сооружений. Нарушение работы автоматизированных систем управления и прекращение подачи электроэнергии способны заблокировать работу водопропускных сооружений в целом. Особенно это опасно, когда отказы в работе оборудования происходят во время пропуска паводка через ГТС. Чтобы определить вероятность наступления таких событий, служба эксплуатации ГТС обязана вести постоянный учет всех нарушений в работе оборудования, средств управления и фиксировать случаи отключения подачи электроэнергии, а также отражать в отчетах даты выполнения внеплановых ремонтов и их продолжительность. Для обеспечения работы оборудования электроэнергией необходимо иметь резервное энергоснабжение, которое постоянно бы находилось в рабочем состоянии, а в период половодья было способно включаться в работу в течение 15 мин.

4.5 Анализ результатов данных эксплуатации ГТС.

Данные обследований, дополнительных (повторных) изысканий и расчетов (используются данные по пунктам 4.2, 4.4.3,

4.4.4, 4.4.5, 4.4.7 и 4.4.8 для корректировки расчетов проекта), натурных наблюдений и контроля технического состояния оборудования должны использоваться для уточнения контролируемых показателей, установления статистических зависимостей, определения критериальных значений диагностических показателей и оценки уровня риска аварии ГТС. Методика выполнения таких работ подробно рассмотрена в главе 1 данных «рекомендаций». Результаты анализа этих данных необходимы для составления декларации безопасности ГТС.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Перечень контролируемых показателей состояния ГТС.

Для оценки состояния эксплуатируемого ГТС необходимо контролировать следующие количественные показатели:

- максимальные расходы воды в створе гидроузла и гидрографы их стока.
- уровни воды в верхнем и нижнем бьефах.
- пропускную способность водопропускных сооружений, ГЭС, насосных станций, каналов и русел рек по длине контролируемой зон.
- заиливание чаши водохранилищ и верхних бьефов гидроузлов, отметки отложения наносов перед водоприемниками сооружений. Давление наносов на конструкции ГТС.
- скорости подъема и снижения уровней воды в верхнем бьефе гидроузлов.
- отказы в работе механического оборудования, средств АСУ и энергоснабжения
- гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов, взвешивающее и фильтрационное давления, напоры воды при напорном режиме движения воды в трубах.
- испарение с водной поверхности, скорость ветра и высота волн.
- значения физико-механических, деформационных и фильтрационных характеристик грунтов тела и основания ГТС.
- параметры сейсмических колебаний оснований и динамической реакции сооружений, (акселерограммы, перемещения, скорости и ускорения, продолжительность воздействия).
- вертикальные и горизонтальные перемещения и деформации сооружений, их оснований в пределах активной и приконтактной зон. Осадки от разжижения грунтов при воздействии сейсма.
- температура бетона ГТС, напряжения в бетоне, арматуре, модуль деформации бетона.
- взаимные смещения по межсекционным швам бетонных сооружений.
- раскрытие трещин, межблочных швов в бетонных сооружениях.

- углы поворота контролируемых сечений бетонных сооружений.
- фильтрационный расход воды (суммарный и по отдельным участкам сооружений и их оснований), поступающий в дренажные устройства и подземные выработки или выходящий на дневную поверхность.
- отметки депрессионных поверхностей фильтрационного потока в теле грунтовых сооружений и береговых примыканиях.
- пьезометрические напоры и их градиенты в теле грунтовых сооружений, оснований и береговых примыканиях.
- поровое давление и интенсивность его рассеивания в основаниях и водоупорных элементах плотин из грунтовых материалов.
- температура окружающей среды (вода, воздух) температура тела ГТС и грунтов основания.
- скорости потока воды в пределах ГТС (разрушение бетона, параметры пульсации и кавитации) размывы в нижних бьефах. Местная фильтрационная прочность грунтов.
- давление гидравлического удара и величину вакуума в трубах ГЭС и НС.

Визуальному контролю подлежат следующие качественные показатели состояния эксплуатируемых ГТС:

- наличие и развитие просадок или пучения грунта на гребне, берме и откосах.
- локальные оползни откосов и береговых склонов.
- повреждения волнозащитных креплений откосов плотин, наличие локальных просадок и пучений.
- наличие полостей и каверн в основании и теле сооружений.
- наличие и развитие трещин на гранях сооружений, в зонах сопряжений элементов сооружений и оснований с различными механическими и фильтрационными свойствами, а также в подземных выработках.
- протечки воды в потернах сооружений, следы выщелачивания бетона.
- засорение, зарастание дренажных устройств.
- высачивание воды, намочание откосов и склонов.
- мутность профильтровавшейся воды, ее химический состав.
- переработка берегов с угрозой прорыва напорного фронта.

Водоподпорные ГТС из грунтовых материалов (глухие)

№ п/п	комплекс расчетов	нагрузки	контролируемые показатели
1	по оценке несущей способности ГТС	<p>Собственный вес грунта тела и основания ГТС</p> <p>Силовое воздействие фильтрующейся воды.</p> <p>Давление незавершенной консолидации.</p> <p>Сейсмические воздействия</p> <p>Воздействия неустойчивых масс грунта.</p>	<p>Физико-механические показатели грунтов и строительных материалов.</p> <p>Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах и соответствующие им отметки поверхности кривой депрессии.</p> <p>Избыточное поровое давление в теле и основании ГТС.</p> <p>Смещения, ускорения, периоды колебаний, параметры динамической реакции ГТС.</p> <p>Смещения локальных масс грунта на откосах и бортах.</p>
2	по обеспечению фильтрационной прочности грунтов	<p>Силовое воздействие фильтрующейся воды и его изменения при разных скоростях наполнения и снижения УВБ.</p> <p>Воздействие суффозионных явлений.</p>	<p>Пьезометрические напоры, градиенты напора при разных УВБ, скорости подъема и снижения УВБ. Фильтрационные расходы воды на разных участках ГТС</p> <p>Локальные просадки грунта на гребне, бермах и бортах. Протечки в потернах, следы выщелачивания бетона. Засорение и зарастание дренажных устройств. Мутность профильтровавшейся воды, ее химический состав.</p>

3	по обеспечению пропуска воды через ГТС	<p>Деформации, вызванные уплотнением грунтов под действием собственного веса и сейсмических воздействий.</p> <p>Силовое воздействие волн.</p>	<p>Осадки ГТС от разжижения грунтов при сейсме. Осадки тела и основания ГТС в процессе их возведения и последующей эксплуатации.</p> <p>Высота волн от ветра, сейсма и обрушения неустойчивых масс грунта (обвалов). Разрушение креплений верхового откоса.</p>
---	--	---	---

Водоподпорные ГТС, бетонные (глухие)

№ п/п	Комплекс расчетов	Нагрузки	Контролируемые показатели
1	по оценке несущей способности ГТС	<p>Собственный вес ГТС и грунты основания.</p> <p>Давление воды на поверхности ГТС.</p> <p>Объемные силы фильтрации.</p> <p>Давления от ветровых волн</p>	<p>Физико-механические показатели строительных материалов и грунтов основания.</p> <p>Эпюры давления воды при НПУ, ФПУ, наклоны, углы поворота сечений, вертикальные и горизонтальные перемещения.</p> <p>Взвешивающее и фильтрационное давления, в том числе выход из строя дренажных и противофильтрационных устройств.</p> <p>Высота волн, эпюры давления.</p>

		<p>Давления отложившихся наносов.</p> <p>Температурно-влажностные воздействия.</p> <p>Сейсмические воздействия.</p>	<p>Отметки отложений, γ, $tg\phi$ и C наносов.</p> <p>Температура окружающей среды (воды, воздуха), напряжения в бетоне и арматуре, раскрытие швов и трещин.</p> <p>Смещения, ускорения, периоды колебаний, параметры динамической реакции ГТС</p>
2	по обеспечению фильтрационной прочности грунта	<p>Силовое воздействие фильтрующейся воды.</p> <p>Воздействия суффозионных явлений.</p>	<p>Пьезометрические напоры, градиенты напора и расходы фильтрации на разных участках ГТС.</p> <p>Протечки воды в потернах, следы выщелачивания бетона, высачивание воды на поверхность бетона, намокание склонов. Засорение дренажных устройств. Мутность профильтровавшейся воды, ее химический состав.</p>
3	обеспечению пропуска воды через ГТС	<p>Состояние ГТС в период прохождения паводков.</p> <p>Воздействия волн.</p>	<p>Величины максимальных расходов и гидрографы стока воды, режим уровней НПУ, МПУ, РПУ.</p> <p>Высота волн от ветра, сейсма, возникновение волн при обвалах масс грунта в водохранилища, русла каналов.</p>

Бетонные водосбросные (воспринимающие напор воды)

№ п/п	комплекс расчетов	нагрузка	Контролируемые показатели.
1	по оценке несущей способности ГТС	<p>Собственный вес ГТС и грунты основания</p> <p>Давление воды на поверхности ГТС.</p> <p>Объемные силы фильтрации.</p> <p>Давление наносов.</p> <p>Давление от волн.</p> <p>Температурно-влажностное воздействие.</p> <p>Сейсмические воздействия.</p>	<p>Физико-механические свойства строительных материалов и грунтов основания.</p> <p>Эпюры давления воды при НПУ, МПУ, наклоны, углы поворота сечений, вертикальные и горизонтальные перемещения.</p> <p>Взвешивающее и фильтрационное давление, в том числе выход из строя дренажных и противофильтрационных устройств.</p> <p>Отметки отложения, γ, $\text{tg}\varphi$ и S наносов.</p> <p>Высота волн, эпюры давления.</p> <p>Температура окружающей среды (вода, воздух), напряжения в бетоне и арматуре, раскрытие швов и трещин.</p> <p>Смещения, ускорения, периоды колебаний, параметры динамической реакции ГТС</p>

2	обеспечению фильтрационной прочности грунтов	<p>Силовое воздействие фильтрующей воды.</p> <p>Воздействия суффозионных явлений.</p>	<p>Пьезометрические напоры, градиенты напора и расходы фильтрации на разных участках ГТС.</p> <p>Протечки воды в потернах, следы выщелачивания бетона, высачивание воды на поверхность бетона, намокание склонов. Засорение дренажных устройств. Мутность профильтрованной воды, ее химический состав.</p>
3	по обеспечению пропуска воды через ГТС	<p>Состояние ГТС в период прохождения паводков.</p> <p>Отложения наносов, снижение объемов трансформации.</p> <p>Работоспособность оборудования и средств управления.</p>	<p>Максимальные расходы воды, гидрографы стока, отметки уровней НПУ, МПУ, РПУ. Пропускная способность водосбросов, скорости течения воды. Разрушения бетона под действием пульсации и кавитации. Размывы основания в нижнем бьефе.</p> <p>Изменения максимальных расчетных расходов за счет заиливания чаши водохранилищ и пропускной способности при отложении наносов перед водоприемниками.</p> <p>Отказа в работе механического оборудования, средств АСУ, энергоснабжении.</p>

Водопроводящие ГТС (трубы, каналы, туннели)

№ п/п	комплекс расчетов	нагрузки	Контролируемые показатели.
1	по оценке несущей способности ГТС	<p>Собственный вес ГТС и оборудования.</p> <p>Боковое и горное давления грунтов.</p> <p>Давление воды на поверхность ГТС</p> <p>Объемные силы фильтрации.</p> <p>Подвижные нагрузки.</p> <p>Температурно-влажностные воздействия.</p> <p>Скорости снижения уровней воды.</p> <p>Сейсмические воздействия.</p>	<p>Физико-механические свойства строительных материалов. Вес оборудования.</p> <p>Физико-механические свойства грунтов, коэффициент крепости, коэффициент упругого отпора.</p> <p>Эпюры давления воды при расчетных горизонтах (нормальном, минимальном, форсированным).</p> <p>Эпюры фильтрационных и взвешивающих сил.</p> <p>Эпюра давления от подвижных нагрузок, величины прогибов.</p> <p>Температура ГТС, напряжения в бетоне и арматуре, раскрытие швов и трещин в бетоне.</p> <p>Величины деформаций плит крепления откосов.</p> <p>Смещения, ускорения, периоды колебаний ГТС</p>

2	фильтрационной прочности грунтов	Силовое воздействие фильтрации и явлений суффозии.	Величины пьезометрических напоров, градиенты напора, потери воды на фильтрацию. Намокание откосов, выклинивание воды на поверхность, мутность воды.
3	по обеспечению пропуска воды через ГТС	<p>Состояние ГТС в период прохождения паводков.</p> <p>Отложения наносов перед водоприемниками и угроза их завала, деформация русел каналов.</p> <p>Боковая приточность и изменчивость режима работы канала.</p> <p>Работоспособность оборудования и средств управления.</p>	<p>Отметки поверхности воды (напоров) при пропуске максимальных расходов. Пропускная способность ГТС, скорости течения воды в сжатых сечениях, на водобое. Разрушения бетона и размывы основания в нижнем бьефе.</p> <p>Отметки отложений наносов перед водоприемниками. Физико-механические характеристики наносов и оценка устойчивости откосов отложений. Отложения наносов в каналах, изменение их пропускной способности, отметки кривой свободной поверхности воды и оценка возможности переполнения каналов.</p> <p>Расходы воды боковых притоков, неустановившиеся режимы течения воды в каналах. Высота волн неустановившегося движения воды.</p> <p>Отказы в работе механического оборудования, средств АСУ, энергоснабжения.</p>

**Специальные ГТС (ГЭС и НС со зданиями
не воспринимающими напор)**

№ п/п	Комплекс расчетов	Нагрузки	Контролируемые показатели
1	по оценке несущей способности ГТС	<p>Собственный вес ГИС и оборудования.</p> <p>Воздействия фильтрации на участке НСУ.</p> <p>Температурно-влажностное воздействие.</p> <p>Действие подвижной нагрузки.</p> <p>Воздействия напорного режима на трубопроводы.</p> <p>Сейсмические воздействия.</p>	<p>Физико-механические показатели строительных материалов. Вес оборудования.</p> <p>Отметки поверхности кривой депрессии, пьезометрические напоры градиенты напора.</p> <p>Напряжения в бетоне и арматуре, раскрытие межсекционных швов, трещин. Взаимные смещения по швам.</p> <p>Прогибы конструкций в пролетах.</p> <p>Напоры воды, давления при гидравлических ударах, высота всасывания ($H_{\text{вакуума}}$).</p> <p>Смещения, ускорения, периоды колебаний.</p>
2	по обеспечению фильтрационной прочности грунтов	<p>Силовые воздействия фильтрации.</p>	<p>Пьезометрические напоры, градиенты напора, расходы фильтрации. Намокание откосов высачивание воды на поверхность, мутность воды.</p>

3	по обеспечению пропускания воды через ГТС	Заиливание аванкамер и забивка решеток мусором. Воздействия неустановившегося движения воды. Деформации ГТС. Работоспособность механического оборудования.	Снижение пропускной способности, увеличение расхода электроэнергии на НС и снижение выработки ГЭС. Высота волн неустановившегося движения, оценка возможности перелива воды через гребень дамб. Отметки гребня дамб, оценка возможности перелива воды через гребень. Отказы в работе механического оборудования, средств АСУ, энергоснабжения.
---	---	---	---

Приложение 2. Установление эмпирических зависимостей между переменными величинами.

Выбор вида эмпирической формулы [50].

Пусть «у» есть функция одной переменной с двумя параметрами **a** и **b**. В качестве набора функций, из которых будем выбирать эмпирическую зависимость, рассмотрим:

1. линейную функцию $y = a + bx$,
2. показательную функцию $y = ab^x$,
3. дробно-рациональную функцию $y = 1/(a + bx)$,
4. логарифмическую функцию $y = a + b \lg x$,
5. степенную функцию $y = ax^b$, (она определяет при $b > 0$ параболическую зависимость, при $b < 0$ гиперболическую и при $b = 0$ линейную),
6. гиперболическая функция вида $y = a + b/x$,

7. дробно-рациональную функцию вида $y = x/(a+bx)$.

Для выбора вида аналитической зависимости $y = f(x,a,b)$, построенной по данным таблицы 2-1, выполним следующие промежуточные вычисления. На заданном отрезке изменения независимой переменной выберем точки, достаточно надежные и, по возможности, далеко отстоящие друг от друга. Будем считать, что это точки x_1 и x_n . Вычислим для них среднее арифметическое значение $x_{ар} = (x_1+x_n)/2$, среднее геометрическое – $x_{геом} = \sqrt{x_1 x_n}$ и среднее гармоническое $x_{гарм} = 2x_1 x_n / (x_1+x_n)$. По вычисленным значениям независимой переменной найдем по построенному графику соответствующие значения зависимой переменной.

$$x_{ар} \rightarrow y_1^*, \quad x_{геом} \rightarrow y_2^*, \quad x_{гарм} \rightarrow y_3^*.$$

Выполним вспомогательные вычисления для крайних значений зависимой переменной. Среднее арифметическое- $y_{ар} = (y_1+y_n)/2$, среднее геометрическое- $y_{геом} = \sqrt{y_1 y_n}$ и среднее гармоническое- $2y_1 y_n / (y_1+y_n)$. Сравним найденные из графика y_1^*, y_2^*, y_3^* с вычисленными значениями $y_{ар}, y_{геом}, y_{гарм}$ и оценим следующие результаты погрешности сравнения:

$$\begin{aligned} |y_1^* - y_{ар}| &= \epsilon_1 - \text{для линейной функции,} \\ |y_1^* - y_{геом}| &= \epsilon_2 - \text{для показательной функции,} \\ |y_1^* - y_{гарм}| &= \epsilon_3 - \text{для дробно-рациональной функции вида (3),} \\ |y_2^* - y_{ар}| &= \epsilon_4 - \text{для логарифмической функции,} \\ |y_2^* - y_{геом}| &= \epsilon_5 - \text{для степенной функции,} \\ |y_3^* - y_{ар}| &= \epsilon_6 - \text{для гиперболической функции,} \\ |y_3^* - y_{гарм}| &= \epsilon_7 - \text{для дробно-рациональной функции вида (7).} \end{aligned}$$

Искомой зависимости будет соответствовать значение $\epsilon =$

min.

Пример. Подобрать эмпирическую зависимость для функции, заданной таблицей 2-1

Таблица 2-1

x	1	2	3	4	5	6	7	8	9
y	521	308	240.5	204	183	171	159	152	147

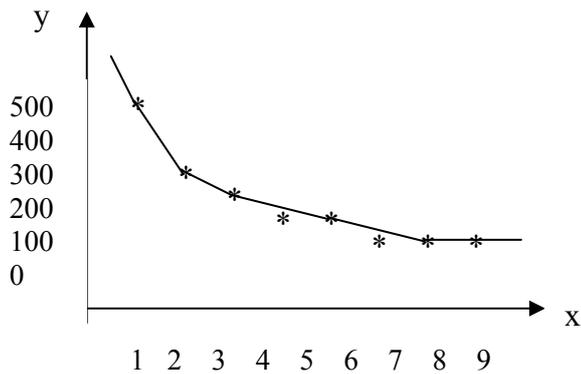


Рис. 2-1.

Решение.

1. Предположим, что в данном примере крайние табличные значения достаточно надежны. Проведем вспомогательные вычисления и найдем для крайних значений независимой переменной $x_1=1$ и $x_9=9$ среднее арифметическое $x_{ар} = (x_1+x_9)/2 = 5$, среднее геометрическое $x_{геом} = \sqrt{x_1x_9} = 3$ и среднее гармоническое $x_{гарм} = 2x_1x_9/(x_1+x_9) = 1.8$.

2. По графику найдем значения функции, соответствующие вычисленным значениям аргумента: для $x_{ар}=5$ имеем $y_1^* = 180$, для $x_{геом} = 3$ имеем $y_2^* = 240$, для $x_{гарм} = 1.8$ имеем $y_3^* = 341$.

3. Выполним дополнительные расчеты для зависимой переменной. Найдем для крайних значений среднее арифметическое $y_{ар} = (y_1+y_n)/2 = (521+147)/2 = 334$, среднее геометрическое $y_{геом} = \sqrt{521*147} = 274$, среднее гармоническое $y_{гарм} = 2y_1y_n/(y_1+y_n) = 2*521*147/(521+147) = 228$.

4. Сравним найденные из графика y_1^* , y_2^* и y_3^* с вычисленными значениями $y_{ар}$, $y_{геом}$ и $y_{гарм}$ и установим вид зависимости, имеющей наименьшую погрешность.

Данные сравнения поместим в таблицу 2-2.

Таблица 2-2

№ п\п	Вид зависимости	Переменные		Линенизация зависимости	Оценка погрешности
		y	x		
1	$y=a+bx$	y	x	$y=a+bx$	$\epsilon_1 = /y^*_1 - y_{ap}/ = /180-334/=154$
2	$y=a*b^x$	lgy	x	$lg y = lg a + x lg b$	$\epsilon_2 = /y^*_1 - y_{ге-ом}/ = /180-277/=97$
3	$y=1/(a+bx)$	1/y	x	$1/y=a+bx$	$\epsilon_3 = /y^*_1 - y_{гарм}/ = /180-229/=49$
4	$y=a+b lg x$	y	lg x	$y= a+ b lg x$	$\epsilon_4 = /y^*_2 - y_{ap}/ = /240-334/=94$
5	$y= a*x^b$	lg y	lg x	$lg y = lg a + b lg x$	$\epsilon_5 = /y^*_2 - y_{геом}/ = /240-277/=37$
6	$y= a+b/x$	y	1/x	$y= a+b(1/x)$	$\epsilon_6 = /y^*_3 - y_{ap}/ = /341-334/=7$ $\epsilon = \min$
7	$y=x/(a+bx)$	1/y	1/x	$1/y=a/x+b$	$\epsilon_7 = /y^*_3 - y_{гарм}/ = /341-229/=112$

Поскольку наименьшая из абсолютных ошибок есть ϵ_6 в качестве аналитической зависимости следует выбрать гиперболическую зависимость $y=a+b/x$.

Подбор для выбранной зависимости коэффициентов **a** и **b** методом наименьших квадратов.

Выравнивание по гиперболической функции. Уравнение имеет вид $y=a+b/x$ или $y=a+b(1/x)$, где **a** и **b** неизвестные постоянные, определяемые по формулам:

$$a = \frac{\sum(1/x)\sum(1/x)y - \sum(1/x)^2 \sum y}{[\sum(1/x)]^2 - n \sum(1/x)^2} \quad b = \frac{\sum(1/x)\sum y - n \sum(1/x)y}{[\sum(1/x)]^2 - n \sum(1/x)^2}$$

Последовательность вычислений показана в таблице 2-3.

Таблица 2-3

№ п\п	y	x	(1/x)	y ²	(1/x) ²	(1/x)y	y ¹	y-y ¹	(y-y ¹) ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	521	1	1	271441	1	521	521	0.713	0.50837
2	308	2	0.5	94864	0.25	154	309.86	-1.862	3.46704
3	240.5	3	0.333	57840.3	0.1111	80.167	239.72	0.78	0.60788
4	204	4	0.25	41616	0.0625	51	204.65	-0.65	0.42185
5	183	5	0.20	33489	0.040	36.6	183.61	-0.607	0.36845
6	171	6	0.167	29241	0.02778	28.5	169.58	1.421	2.02019
7	159	7	0.143	25281	0.02041	22.713	159.56	-0.558	0.31184
8	152	8	0.125	23104	0.015625	19	152.04	-0.043	0.00187
9	147	9	0.111	21609	0.012346	16.333	146.19	0.802	0.64303
Σ	2085.5	45	2.829	598485.3	1.53977	929.3143	2086.21	-0.004	8.3505

Количество данных n=9. Суммируя значения колонок 2, 4, 6, и 7 получим:

$$\Sigma y = 2085.5, \quad \Sigma(1/x) = 2.829, \quad \Sigma(1/x)^2 = 1.53977, \\ \Sigma(1/x)y = 929.3143$$

Найденные суммы подставляем в выражения (а) и (б) получим:

$$a = \frac{2.829 \times 929.3143 - 1.53977 \times 2085.5}{(2.829)^2 - 9 \times 1.53977} = 99.437$$

$$b = \frac{2.829 \times 2085.5 - 9 \times 929.3143}{(2.829)^2 - 9 \times 1.53977} = 420.85$$

Искомое уравнение имеет вид $y^1 = 99.44 + 420.85/x$

Подставляя данные колонки 3 в полученное уравнение, результаты внесем в колонку 8. Разность между заданными значениями y и полученными по уравнению внесем в колонку 9. Возведем в квадрат данные колонки 9, результаты поместим в колонку 10. Суммируем данные колонок 9 и 10. Величину основной ошибки найдем по формуле:

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\Sigma(y - y^1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{8.3505}{8}} = 1.022 < 23.2$$

Эта величина является размерной. Ее можно считать малой и признать выравнивание удовлетворительным, если она менее

$$0.1 \bar{y} = 0.1 \times 2085.5 / 9 = 23.2$$

Тесноту связи между двумя переменными характеризует коэффициент корреляции (для нелинейных зависимостей корреляционное отношение)

$$R = \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_y}\right)^2} = \sqrt{1 - \left(\frac{1.02}{113}\right)^2} \sim 1.0$$

Связь считается достаточно тесной, если $R > 0.7$

$$\text{где } \sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{n} - (\bar{y})^2} = \sqrt{\frac{598485.3}{9} - (231.7)^2} = 113 \text{ среднее квадра-}$$

тичное отклонение зависимой переменной (y). \bar{y} - среднее арифметическое значение зависимой переменной (y).

Установление функциональной зависимости, представленной параболой n-й степени.

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n,$$

где a_1, a_2, \dots, a_n - неизвестные параметры. Для их нахождения воспользуемся интерполяционной формулой Чебышева [35], которая имеет вид: $y = k_0q_0(x) + k_1q_1(x) + k_2q_2(x) + \dots + k_\lambda q_\lambda(x)$. Здесь величина $\lambda \leq n-1$ характеризует порядок параболы. n - число значений независимой переменной. В этой формуле аргументом является величина $x = \bar{u}$, где $\bar{u} = \frac{\sum ui}{n}$. Последовательность вычисления и способы определения входящих в интерполяционную формулу коэффициентов показано на примере таблицы 2-4.

Таблица 2-4

№	y	u	y ²	x= u- \bar{u}	y _i x _i	x _i ²	x _i ² y _i	x _i ³	x _i ⁴	x _i ³ y _i	x _i ⁵	x _i ⁶	₂ f(y)	₃ f(y)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	1	4	-6	-12	36	72	-216	1296	-482	-7776	46656	2.9	2.1
2	10	3	100	-4	-40	16	160	-64	256	-640	-1024	4096	9.6	13.1
3	17	4	289	-3	-54	9	153	-27	81	-459	-243	729	16.3	20.6
4	33	6	1039	-1	-33	1	33	-2	1	-33	-1	1	35.6	37.7
5	51	7	2601	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48.5	48.4
6	66	8	4256	+1	66	1	66	1	1	66	1	1	63.5	61.2
7	96	10	9216	+3	268	9	864	27	81	2592	243	729	99.8	95.3
8	120	11	14400	+4	480	16	1920	64	256	7680	1024	4096	121.2	117.6
9	172	13	29584	+6	1032	36	6192	216	1296	37152	7776	46656	170.3	175.3
Σ	567	63	61639		1730	124	9160	0	3268	45926	0	102964		

1. Определение параболы нулевой степени.

Находим $\sum y_i = 567$ и заносим в конец колонки 2 табл.2-4. Определим величину k_0 . Она равна

$$k_0 = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{567}{9} = 63.$$

Для уравнения параболы нулевого порядка $q_0(x) = x^0 - 1$. Находим уравнение параболы нулевого порядка $f(y) = k_0 q_0(x) = 63$.

Определим основную ошибку. Для этого находим y_i^2 и заполняем колонку 4. $\sum y_i^2 = 61639$. находим величину $\sum_0 = \sum y_i^2 - \frac{\sum (y_i)^2}{n} = 61639 - \frac{567^2}{9} = 25918$. Основная ошибка равна

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\sum_0}{n-1}} = \sqrt{\frac{25918}{9-1}} = 56.9.$$

2. Определение параболы первого порядка.

Вычисляем $\sum u_i = 63$. $\bar{u} = \frac{\sum u_i}{n} = \frac{63}{9} = 7$ и $x_i = u_i - \bar{u}$ и заполняем

колонку 5.

Вычисляем произведение $y_i x_i$ и заполняем колонку 6, находим $\sum y_i x_i = 1730$.

Вычисляем x_i^2 , заполняем колонку 7 и находим $\sum x_i^2 = 124$.

Вычисляем $k_1 = \frac{\sum y_i x_i}{\sum x_i^2} = \frac{1730}{124} = 13.95$

Для параболы 1-го порядка величина $q_1(x) = x$. Поэтому $k_1 q_1(x) = 13.95x$.

Складываем $k_0 q_0(x) + k_1 q_1(x) = 63 + 13.95x$. Искомое выражение $f(y) = 63 + 13.95x$

Вычисляем основную ошибку $\sum_1 = \sum_0 - k_1 \sum x_i^2 = 25918 - 13.95^2 * 124 = 1784.5$ $\sigma_1 = \sqrt{\frac{\sum_1}{n-2}} = \sqrt{\frac{1784.5}{7}} = 15.9$.

Так как σ_0 значительно превосходит σ_1 , то интерполирование должно быть продолжено.

3. Определение параболы 2-го и 3-го порядка.

Вычисляем произведение $x_i^2 y_i$, заполняем колонку 8 и находим, что $\sum x_i^2 y_i = 9460$. Вычисляем x_i^3 , заполняем колонку 9 и находим, что $\sum x_i^3 = 0$. Вычисляем x_i^4 , заполняем колонку 10 и находим, что $\sum x_i^4 = 3268$. Вычисляем величины

$$A_2 = \frac{\sum x_i^2}{n} = \frac{124}{9}, \quad b = \frac{\sum x_i^3}{\sum x_i^2} = \frac{0}{124} = 0,$$

$$C_2 = \sum x_i^4 - b_2 \sum x_i^3 - A_2 \sum x_i^2 = 3268 - 0 * 0 - \frac{124}{9} * 124 = 1559.56$$

Вычисляем величину $k_2 q_2(x)$

$$k_2 = \frac{\sum x_i^2 y - k_0 \sum x_i^2 - k_0 \sum x_i^3}{C_2} = \frac{9460 - 63 * 124 - 13.95 * 0}{1559.56} = 1.06$$

$$q_2(x) = (x^2 - b_2 x - A_2) = x^2 - 0 * x - \frac{124}{9} = x^2 - 13.78$$

$$k_2 q_2(x) = 1.06(x^2 - 13.78) = 1.06x^2 - 14.6$$

Складываем $k_0 q_0(x) + k_1 q_1(x) + k_2 q_2(x)$ и получим уравнение параболы второго порядка

$${}_2f(y) = 63 + 13.95x + 1.06x^2 - 14.6 = 1.06x^2 + 13.95x + 48.4$$

Вычисляем основную ошибку

$$\sum_2 = \sum_1 - k_2^2 C_2 = 1784.5 - 1.06^2 * 1559.56 = 32.12$$

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{\sum_2}{n-3}} = \sqrt{\frac{32.12}{6}} = 2.3$$

Если полученное значение $\sigma_2 = 2.3$ считать достаточно малым, то можно ограничиться вычислением параболы 2-го порядка. После этого необходимо перейти от аргумента $x = u - \bar{u} = u - 7$ к аргументу u , подставив в уравнение параболы 2-го порядка $x = u - 7$. Тогда окончательно получим

$${}_2f(y) = 1.06(u-7)^2 + 13.95(u-7) + 48.4$$

или

$${}_2f(y) = 1.06u^2 + 0.89u + 2.74$$

Для примера выполним вычисление параболы 3-го порядка.

Вычисляем произведение $x_i^3 y_i$, заполняем колонку 11 и находим $\sum x_i^3 y_i = 45926$.

Вычисляем x_i^5 , заполняем колонку 12 и находим, что $\sum x_i^5 = 0$.
Вычисляем x_i^6 , заполняем колонку 13 и находим, что $\sum x_i^6 = 102964$. Вычисляем выражения:

$$C_3 = \sum x_i^5 - b_2 \sum x_i^4 - A_2 \sum x_i^3 = 0 - 0 * 3268 - \frac{124}{9} * 0 = 0. \quad D_2 = \sum x_i^6 - b_2 \sum x_i^5 -$$

$$A_2 \sum x_i^4 = 102964 - 0 * 0 - 12.58 * 3264 = 45025.778$$

$$A_3 = \frac{C_2}{\sum x_i^2} = \frac{1559.56}{124} = 12.577, \quad b_3 = \frac{C_3}{C_2} - \frac{\sum x_i^3}{\sum x_i^2} =$$

$$\frac{0}{1559.56} - \frac{0}{124} = 0$$

$$E_3 = D_3 - b_3 C_3 - A_3 \sum x_i^4 = 45025.78 - 0 * 0 - 12.58 * 3268 = 3914.34$$

Определяем $k_3 q_3(x)$

$$k_3 = \frac{\sum y_i x_i^3 - k_0 \sum x_i^3 - k_1 \sum x_i^4 - k_2 C_3}{E_3} =$$

$$\frac{45926 - 63 * 0 - 13.95 * 3268 - 1.06 * 0}{3914.34} = 0.0862$$

$$q_3(x) = (x - b_3)q_2(x) - A_3 x = (x - 0) \left(x^2 - \frac{124}{9} \right) - 12.58 x = x^3 - 26.36 x$$

$$k_3 q_3(x) = 0.0862(x^3 - 26.36x) = 0.0862 x^3 - 2.267 x$$

Вычисляем уравнение параболы 3-го порядка

$$\begin{aligned} {}_3f(y) &= k_0 q_0(x) + k_1 q_1(x) + k_2 q_2(x) + k_3 q_3(x) = \\ &= 63 + 13.95x + 1.06x^2 - 14.6 + 0.0862x^3 - 2.267x \\ {}_3f(y) &= 0.0862x^3 + 1.06x^2 + 11.68x + 48.4 \end{aligned}$$

Вычисляем основную ошибку

$$\Sigma_3 = \Sigma_2 - k_3^2 E_3 = 32.12 - 0.0862^2 * 3914.34 = 3.15$$

$$\sigma_3 = \sqrt{\frac{\Sigma_3}{n-4}} = \sqrt{\frac{3.15}{5}} = 0.79$$

Так как $\sigma_3 > \sigma_2$ то, следовательно, выравнивание по параболе 3-го порядка дает несколько лучшее приближение. Величина σ_3 мало отличается от σ_2 и поэтому дальнейшее увеличение порядка параболы нецелесообразно. Выразим аргумент x функции ${}_3f(x)$ через аргумент u . Для этого вместо x подставим, как и ранее $(u-7)$ в ${}_3f(x)$.

$${}_3f(y) = 0.0862(u-7)^3 + 1.06(u-7)^2 + 11.68(u-7) + 48.4$$

$${}_3f(y) = 0.0862u^3 - 0.75u^2 + 9.51u - 10.99$$

В колонках 14 и 15 приведены выровненные значения y , вычисленные по параболам 2-й и 3-й степени.

Установление функциональной зависимости, представленной уравнением множественной корреляции [27].

Уравнение множественной корреляции с независимыми переменными x, z, u, v имеет вид:

$$y = a_0 + a_1x + a_2z + a_3u + a_4v.$$

Для определения коэффициентов $a_0, a_1, a_2, a_3,$ и a_4 составляется система нормальных уравнений.

$$a_0n + a_1\Sigma x + a_2\Sigma z + a_3\Sigma u + a_4\Sigma v = \Sigma y$$

$$a_0\Sigma x + a_1\Sigma x^2 + a_2\Sigma xz + a_3\Sigma xu + a_4\Sigma xv = \Sigma xy$$

$$a_0\Sigma z + a_1\Sigma xz + a_2\Sigma z^2 + a_3\Sigma zu + a_4\Sigma zv = \Sigma zy$$

$$a_0\Sigma u + a_1\Sigma xu + a_2\Sigma zu + a_3\Sigma u^2 + a_4\Sigma uv = \Sigma uy$$

$$a_0\Sigma v + a_1\Sigma xv + a_2\Sigma zv + a_3\Sigma uv + a_4\Sigma v^2 = \Sigma vy$$

Величины n, x, z, v, y бывают заданными. Величины xz, xu, xv, xy, u^2, y^2 вычисляются.

Для решения этих уравнений предварительно вычисляются также суммы величин $\Sigma x, \Sigma z, \Sigma x^2, \Sigma xz$ и так далее. Вычисления коэффициентов можно вести в табличной форме, используя таблицу (А.В.С)

Таблица ABC

	0	x	z	U	v	y	
C_{ii} A_i i	C_{00} A_{00}	C_{11} A_{11}	C_{22} A_{22}	C_{33} A_{33}	C_{44} A_{44}	- -	средние квадраты
0	S_{00} B_{00} 1	C_{10} A_{10} a_{10}	C_{20} A_{20} a_{20}	C_{30} A_{30} a_{30}	C_{40} A_{40} a_{40}	a_{50}	a_{50}^2/C_{00}
x	S_{10} B_{10} b_{10}	S_{11} B_{11} 1	C_{21} A_{21} a_{21}	C_{31} A_{31} a_{31}	C_{41} A_{41} a_{41}	a_{51}	a_{51}^2/C_{11}
z	S_{20} B_{20} b_{20}	S_{21} B_{21} b_{21}	S_{22} B_{22} 1	C_{32} A_{32} a_{32}	C_{42} A_{42} a_{42}	a_{52}	a_{52}^2/C_{22}
u	S_{30} B_{30} b_{30}	S_{31} B_{31} b_{31}	S_{32} B_{32} b_{32}	S_{33} B_{33} 1	C_{43} A_{43} a_{43}	a_{53}	a_{53}^2/C_{33}
v	S_{40} B_{40} b_{40}	S_{41} B_{41} b_{41}	S_{42} B_{42} b_{42}	S_{43} B_{43} b_{43}	S_{44} B_{44} 1	a_{54}	a_{54}^2/C_{44}
y	S_{50} B_{50} b_{50}	S_{51} B_{51} b_{51}	S_{52} B_{52} b_{52}	S_{53} B_{53} b_{53}	S_{54} B_{54} b_{54}	S_{55} B_{55} 1	$B_{55}/(n-5)$

Вычисление показателей и заполнение таблицы покажем на примере. Имеем

$$\begin{aligned}
 n=33 \quad \sum x=706, \quad \sum x^2=16912, \quad \sum z=701, \\
 \sum z^2=19625, \quad \sum xz=15486, \\
 \sum u=2800, \quad \sum u^2=359558, \quad \sum xu=52617, \quad \sum zu=68669, \\
 \sum v=2425, \quad \sum v^2=231553, \quad \sum xv=52589, \quad \sum zv=49223, \\
 \sum uv=195131 \\
 \sum y=580.9 \quad \sum y^2=11236.8, \quad \sum xy=12545.9, \quad \sum zy=12170.4, \\
 \sum uy=48045, \quad \sum vy=42210.3
 \end{aligned}$$

Заданными являются следующие величины:

$$a_{00} = b_{00} = a_{11} = b_{11} = a_{22} = b_{22} = a_{33} = b_{33} = a_{44} = b_{44} = a_{55} = b_{55} = 1$$

$$\begin{aligned}
B_{00} = S_{00} = n = 33 & & S_{11} = \sum x^2 = 16912 \\
S_{21} = \sum xz = 15486 & & S_{32} = \sum zu = 68669 \\
B_{10} = S_{10} = \sum x = 706 & & S_{22} = \sum z^2 = 19625 \\
S_{31} = \sum xu = 52617 & & S_{42} = \sum zv = 49223 \\
B_{20} = S_{20} = \sum z = 701 & & S_{33} = \sum u^2 = 359558 \\
S_{41} = \sum xv = 52589 & & S_{52} = \sum zy = 12170.4 \\
B_{30} = S_{30} = \sum u = 2800 & & S_{44} = \sum v^2 = 231553 \\
S_{51} = \sum xy = 12545.9 & & S_{43} = \sum uv = 195131 \\
B_{40} = S_{40} = \sum v = 2425 & & S_{55} = \sum y^2 = 11236.8 \\
S_{53} = \sum uy = 48045 & & \\
B_{50} = S_{50} = \sum y = 580.9 & & S_{54} = \sum vy = 42210.3
\end{aligned}$$

Выполним вычисление остальных показателей таблицы (А, В, С).

Примечание: значения (а) вносятся в таблицу с обратным знаком (знак + заменяется на – и наоборот).

1. $A_{00} = 1 : B_{00} = 1 : 33 = 3030303 \cdot 10^{-8}$ так как величины А выражаются дробями рекомендуется их вычислять с 6-8 знаками после запятой.

$$\begin{aligned}
2. S_{10} = \sum x = 706, B_{10} = S_{10} \cdot b_{00} = 706 \cdot 1 = 706, \\
b_{10} = B_{10} : B_{00} = 706 : 33 = 21.3939, S_{11} = \sum x^2 = 16912, \\
B_{11} = S_{11} - b_{10} B_{10} = 16912 - 21.3939 \cdot 706 = 1808, b_{11} = a_{11} = 1, \\
a_{10} = b_{10} \cdot a_{00} = 21.3939 \cdot (-1) = -21.3939, \\
A_{10} = a_{10} : B_{11} = -21.3939 : 1808 = -1.183291 \cdot 10^{-8}, \\
A_{11} = a_{11} : B_{11} = 1 : 1808 = 53310 \cdot 10^{-8} \\
3. S_{20} = \sum z = 701, B_{20} = S_{20} \cdot b_{11} = 701 \cdot 1 = 701, \\
b_{20} = B_{20} : B_{00} = 701 : 33 = 21.2424, S_{21} = \sum xz = 15486, \\
B_{21} = S_{21} - b_{10} \cdot B_{20} = 15486 - 21.3939 \cdot 701 = 489, \\
b_{21} = B_{21} : B_{11} = 489 : 1808 = 0.2705, S_{22} = \sum z^2 = 19625, \\
B_{22} = S_{22} - b_{20} \cdot B_{20} - b_{21} \cdot B_{21} = 19625 - 21.2424 \cdot 701 - 0.2705 \cdot 489 = 4602, \\
b_{22} = a_{22} = 1, a_{21} = b_{21} \cdot a_{11} = 0.2705 \cdot (-1) = -0.2705, \\
a_{20} = b_{20} \cdot a_{00} + b_{21} \cdot a_{10} = 21.2424 \cdot 1 - 0.2705 \cdot 21.3939 = -15.4554, \\
A_{22} = a_{22} : B_{22} = 1 : 4602 = 21.730 \cdot 10^{-8}, \\
A_{20} = a_{20} : B_{22} = -15.4554 : 4602 = -335841 \cdot 10^{-8}, \\
A_{21} = a_{21} : B_{22} = -0.2705 : 4602 = -5878 \cdot 10^{-8}.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& 4. S_{30}=\sum u=2800, \mathbf{B}_{30}=\mathbf{S}_{30}*\mathbf{b}_{00}=2800*1=2800, \\
& \mathbf{b}_{30}=\mathbf{B}_{30}:\mathbf{B}_{00}=2800:33=84.8485, S_{31}=\sum xu=52617, \\
& \mathbf{B}_{31}=\mathbf{S}_{31}-\mathbf{b}_{10}*\mathbf{B}_{30}=52617-21.3939*2800=-7286, \\
& \mathbf{b}_{31}=\mathbf{B}_{31}:\mathbf{B}_{11}=-7286:1808=-4.0299, S_{32}=\sum zu=68669, \\
& \mathbf{B}_{32}=\mathbf{S}_{32}-\mathbf{b}_{20}*\mathbf{B}_{30}-\mathbf{b}_{21}*\mathbf{B}_{31}=68669-21.2424*2800+ \\
& +0.2705*(-7286)=11160, \\
& \mathbf{b}_{32}=\mathbf{B}_{32}:\mathbf{B}_{22}=11160:4602=2.4250, S_{33}=\sum u^2=359558, \\
& \mathbf{B}_{33}=\mathbf{S}_{33}-\mathbf{b}_{30}*\mathbf{B}_{30}-\mathbf{b}_{31}*\mathbf{B}_{31}-\mathbf{b}_{32}*\mathbf{B}_{32}=359558-84.8485*2800- \\
& -(-4.0298)*(-7.286)-11160*2.4250=65554, \mathbf{b}_{33}=\mathbf{a}_{33}=1, \\
& \mathbf{a}_{32}=\mathbf{b}_{32}*\mathbf{a}_{22}=2.4250*(-1)=-2.4250, \mathbf{a}_{31}=\mathbf{b}_{31}*\mathbf{a}_{11}+\mathbf{b}_{32}*\mathbf{a}_{21}= \\
& =(-4.0298*1-2.4250*0.2705)(-1)=4.6855, \\
& \mathbf{a}_{30}=\mathbf{b}_{30}*\mathbf{a}_{00}+\mathbf{b}_{31}*\mathbf{a}_{10}+\mathbf{b}_{32}*\mathbf{a}_{20}=[84.8485*1+4.0298*(-21.3939)+ \\
& +2.4250*(-15.4554)](-1)=-133.5825, \\
& \mathbf{A}_{33}=\mathbf{a}_{33}:\mathbf{B}_{33}=1:65554=1525*10^{-8}, \\
& \mathbf{A}_{30}=\mathbf{a}_{30}:\mathbf{B}_{33}=-133.5825:65554=-203775*10^{-8}, \\
& \mathbf{A}_{31}=\mathbf{a}_{31}:\mathbf{B}_{33}=4.6855:65554=7147*10^{-8}, \\
& \mathbf{A}_{32}=\mathbf{a}_{32}:\mathbf{B}_{33}=-2.4250:65554=-3699*10^{-8}, \\
& 5. S_{40}=\sum v=2425, \mathbf{B}_{40}=\mathbf{S}_{40}*\mathbf{b}_{00}=2425*1=2425, \\
& \mathbf{b}_{40}=\mathbf{B}_{40}:\mathbf{B}_{00}=2425:33=73.48, S_{41}=\sum xv=52589, \\
& \mathbf{B}_{41}=\mathbf{S}_{41}-\mathbf{b}_{10}*\mathbf{B}_{40}=52589-21.3939*2425=709, \\
& \mathbf{b}_{41}=\mathbf{B}_{41}:\mathbf{B}_{11}=709:1808=0.3921 \\
& S_{42}=\sum zv=49223, \mathbf{B}_{42}=\mathbf{S}_{42}-\mathbf{b}_{20}*\mathbf{B}_{40}-\mathbf{b}_{21}*\mathbf{B}_{41}=49223- \\
& -21.2424*2425-0.2705*709=-2482, \\
& \mathbf{b}_{42}=\mathbf{B}_{42}:\mathbf{B}_{22}=-2482:4602=-0.5393, S_{43}=\sum uv=195131, \\
& \mathbf{B}_{43}=\mathbf{S}_{43}-\mathbf{b}_{30}*\mathbf{B}_{40}-\mathbf{b}_{31}*\mathbf{B}_{41}-\mathbf{b}_{32}*\mathbf{B}_{42}=195131-84.8485*2425- \\
& -(-4.0298)*709-2.4250*(-2482)=-1751, \\
& \mathbf{b}_{43}=\mathbf{B}_{43}:\mathbf{B}_{33}=-1751:65554=-0.0267, S_{44}=\sum v^2=231553, \\
& \mathbf{B}_{44}=\mathbf{S}_{44}-\mathbf{b}_{40}*\mathbf{B}_{40}-\mathbf{b}_{41}*\mathbf{B}_{41}-\mathbf{b}_{42}*\mathbf{B}_{42}-\mathbf{b}_{43}*\mathbf{B}_{43}=231553-73.48*2425- \\
& -0.3922*709-0.5392*(-2482)-(-0.0268)*(-1751)=51700, \\
& \mathbf{b}_{44}=\mathbf{B}_{44}:\mathbf{B}_{44}=1, \mathbf{a}_{43}=\mathbf{b}_{43}*\mathbf{a}_{40}=-0.0268*(-1)=0.0268, \\
& \mathbf{a}_{42}=\mathbf{b}_{42}*\mathbf{a}_{22}+\mathbf{b}_{43}*\mathbf{a}_{32}=[(-0.5392)*1+(-0.0268)*(-2.4250)] \\
& *(-1)=0.4742, \mathbf{a}_{41}=\mathbf{b}_{41}*\mathbf{b}_{20}+\mathbf{b}_{42}*\mathbf{a}_{21}+\mathbf{b}_{43}*\mathbf{a}_{31}=[0.3921*1+(-0.5392)* \\
& (-0.2705)+(-0.0268)*4.6855](-1)=-0.4123, \\
& \mathbf{a}_{40}=\mathbf{b}_{40}*\mathbf{a}_{00}+\mathbf{b}_{41}*\mathbf{a}_{10}+\mathbf{b}_{42}*\mathbf{a}_{20}+\mathbf{b}_{43}*\mathbf{a}_{30}=[73.48*1+0.3921* \\
& *(-21.3939)+(-0.5392)*(-15.4554)+(-0.0268)*(-133.5825)](-1)= \\
& -76.903, \mathbf{A}_{44}=\mathbf{a}_{44}:\mathbf{B}_{44}=1:51700=1934*10^{-8},
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_{43} &= \mathbf{a}_{43} : \mathbf{B}_{44} = 0.0268 : 51700 = 52 * 10^{-8}, \quad \mathbf{A}_{42} = \mathbf{a}_{42} : \mathbf{B}_{44} = 0.4742 : 51700 = \\ &= 917 * 10^{-8}, \quad \mathbf{A}_{41} = \mathbf{a}_{41} : \mathbf{B}_{44} = -0.4123 : 51700 = -797 * 10^{-8}, \\ \mathbf{A}_{40} &= \mathbf{a}_{40} : \mathbf{B}_{44} = -76.903 : 51700 = -148748 * 10^{-8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6. \quad S_{50} &= \sum y = 580.9, \quad \mathbf{B}_{50} = S_{50} * \mathbf{b}_{00} = 580.9 * 1 = 580.9, \\ \mathbf{b}_{50} &= \mathbf{B}_{50} : \mathbf{B}_{00} = 580.9 : 33 = 17.603, \quad S_{51} = \sum xy = 12545.9, \\ \mathbf{B}_{51} &= S_{51} - \mathbf{b}_{10} * \mathbf{B}_{50} = 12545.9 - 21.3939 * 580.9 = 118.2, \\ \mathbf{b}_{51} &= \mathbf{B}_{51} : \mathbf{B}_{11} = 118.2 : 1808 = 0.0654, \quad S_{52} = \sum zy = 12170.4 \\ \mathbf{B}_{52} &= S_{52} - \mathbf{b}_{20} \mathbf{B}_{50} - \mathbf{b}_{21} * \mathbf{B}_{51} = 12170.4 - 21.2424 * 580.9 - \\ &0.2705 * 118.2 = -201.3, \quad \mathbf{b}_{52} = \mathbf{B}_{52} : \mathbf{B}_{22} = -201.3 : 4602 = -0.0437 \\ S_{53} &= \sum uy = 48045, \quad \mathbf{B}_{53} = S_{53} - \mathbf{b}_{30} * \mathbf{B}_{50} - \mathbf{b}_{31} * \mathbf{B}_{51} - \mathbf{b}_{32} * \mathbf{B}_{52} = 48045 - \\ &84.8485 * 580.9 - (-4.0298) * 118.2 - 2.4251 * (-201.3) = -278.6 \\ \mathbf{b}_{53} &= \mathbf{B}_{53} : \mathbf{B}_{33} = -278.6 : 65554 = -0.0043, \quad S_{54} = \sum vy = 42210.3 \\ \mathbf{B}_{54} &= S_{54} - \mathbf{b}_{40} * \mathbf{B}_{50} - \mathbf{b}_{41} * \mathbf{B}_{51} - \mathbf{b}_{42} * \mathbf{B}_{52} - \mathbf{b}_{43} * \mathbf{B}_{53} = \\ &= 42210.3 - 73.485 * 580.9 - 0.3922 * 118.2 - (-0.5392) * (-201.3) - \\ &(-0.0268) * (-278.6) = -639.4, \\ \mathbf{b}_{54} &= \mathbf{B}_{54} : \mathbf{B}_{44} = -639.4 : 51700 = -0.0124, \quad S_{55} = \sum y^2 = 11236.8 \\ \mathbf{B}_{55} &= S_{55} - \mathbf{b}_{50} * \mathbf{B}_{50} - \mathbf{b}_{51} * \mathbf{B}_{51} - \mathbf{b}_{52} * \mathbf{B}_{52} - \mathbf{b}_{53} * \mathbf{B}_{53} - \mathbf{b}_{54} * \mathbf{B}_{54} = \\ &= 11236.8 - 17.603 * 580.9 - 0.0654 * 118.2 - (-0.0437) * (-201.3) - \\ &(-0.0043) * (-278.6) - (-0.0124) * (-639.4) = 985.6, \quad \mathbf{b}_{55} = 1. \\ \mathbf{a}_{54} &= \mathbf{b}_{54} * \mathbf{a}_{44} = (-0.0124) * (-1) = 0.0124 \\ \mathbf{a}_{53} &= \mathbf{b}_{53} * \mathbf{a}_{33} + \mathbf{b}_{54} * \mathbf{a}_{43} = [(-0.0043) * 1 + (-0.0124) * 0.0268] * (-1) = 0.0046 \\ \mathbf{a}_{52} &= \mathbf{b}_{52} * \mathbf{a}_{22} + \mathbf{b}_{53} * \mathbf{a}_{32} + \mathbf{b}_{54} * \mathbf{a}_{42} = [(-0.0437) * 1 + (-0.0043) * (-2.425) + \\ &+ (-0.0124) * 0.4742] * (-1) = 0.0392 \\ \mathbf{a}_{51} &= \mathbf{b}_{51} * \mathbf{a}_{11} + \mathbf{b}_{52} * \mathbf{a}_{21} + \mathbf{b}_{53} * \mathbf{a}_{31} + \mathbf{b}_{54} * \mathbf{a}_{41} = [0.0654 * 1 + (-0.0437) * \\ &(-0.2705) + (-0.0043) * 4.6855 + (-0.0124) * (-0.4124)] * (-1) = -0.0622 \\ \mathbf{a}_{50} &= \mathbf{b}_{50} * \mathbf{a}_{00} + \mathbf{b}_{51} * \mathbf{a}_{10} + \mathbf{b}_{52} * \mathbf{a}_{20} + \mathbf{b}_{53} * \mathbf{a}_{30} + \mathbf{b}_{54} * \mathbf{a}_{40} = \\ &= [17.603 * 1 + 0.0654 * (-21.3939) + (-0.0437) * (-15.4575) + \\ &+ (-0.0043) * (-133.5757) + (-0.0124) * (-77.01)] * (-1) = -18.4086 \end{aligned}$$

Определим весовые коэффициенты Гаусса.

$$\begin{aligned} \mathbf{C}_{00} &= \mathbf{A}_{00} * \mathbf{1} + \mathbf{A}_{10} * \mathbf{a}_{10} + \mathbf{A}_{20} * \mathbf{a}_{20} + \mathbf{A}_{30} * \mathbf{a}_{30} + \mathbf{A}_{40} * \mathbf{a}_{40} = 3030303 * 1 + \\ &+ (-1183297) * (-21.3939) + \\ &+ (-335896) * (-15.4575) + (-203703) * (-133.5825) + \\ &+ (-149012) * (-77.01) = 72224323 * 10^{-8} \\ \mathbf{C}_{10} &= \mathbf{A}_{10} * \mathbf{1} + \mathbf{A}_{20} * \mathbf{a}_{21} + \mathbf{A}_{30} * \mathbf{a}_{31} + \mathbf{A}_{40} * \mathbf{a}_{41} = (-1183297) * 1 + \\ &+ (-335896) * 0.2705 + (-203703) * 4.6855 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(-149012)*0.4129=-2208360*10^{-8} \\
C_{20}=A_{20}*1+A_{30}*a_{32}+A_{40}*a_{42} &= (-335896)*1+(-203207)*(-2.4251)+ \\
& +(-149012)*0.4742=87626.6*10^{-8} \\
C_{30}=A_{30}*1+A_{40}*a_{43} &= (-203703)*1+(-149012)*0.0268= \\
& = -207697*10^{-8} \\
C_{40}=A_{40}*1 &= (-149012)*1=-149012*10^{-8} \\
C_{11}=A_{11}*1+A_{21}*a_{21}+A_{31}*a_{31}+A_{41}*a_{41} &= 53310*1+ \\
& +(-5876)*(-0.2705)+7145*4.6855+(-798)*(-4129)= \\
& = 90707*10^{-8} \\
C_{21}=A_{21}*1+A_{31}*a_{32}+A_{41}*a_{42} &= (-5876)*1+7145*(-2.4251)+ \\
& +(-798)*0.4742= 23582*10^{-8} \\
C_{31}=A_{31}*1+A_{41}*a_{43} &= 7145*1+(-798)*0.0268=7124*10^{-8} \\
C_{41}=A_{41}*1 &= (-798)*1=-798*10^{-8} \\
C_{22}=A_{22}*1+A_{32}*a_{32}+A_{42}*a_{42} &= 21730*1+ \\
& +(-3698)*(-2.4251)+918*0.4742=31133*10^{-8} \\
C_{32}=A_{32}*1+A_{42}*a_{43} &= (-3698)*1+52*0.0268= \\
& =-3673*10^{-8} \\
C_{42}=A_{42}*1 &= 918*1=918*10^{-8} \\
C_{33}=A_{33}*1+A_{43}*a_{43} &= 1526*1+52*0.0268=1527*10^{-8} \\
C_{43}=A_{43}*1 &= 52*1=52*10^{-8} \\
C_{44}=A_{44} &= 1935*10^{-8} \\
\frac{B_{55}}{n-5} &= \frac{985}{33-5} = 35.18
\end{aligned}$$

По результатам вычислений заполняется таблица (ABC)

Таблица (ABC)

	0	x	z	u	v	y	
$C_{ii} * 10^{-8}$ $A_{ii} * 10^{-8}$	72224323 3030303	90707 53310	31133 21730	1527 1526	1935 1935	- -	сред- ний квад- рат
0	33 33 1	-206714 -118330 -21.394	87626.6 -33589 -15.458	-207697 -203703 -133.583	-14901 -14901 -77.01	-18.409	501.7
x	706 706 21.3939	16912 1808 1	-23582 -5876 -0.2705	7124 7145 4.6855	-798 -798 -0.4129	-0.0622	4.27

z	701 701 21.2424	15486 489 0.2705	19625 4602 1	3673 -3698 -2.4251	918 918 0.4742			0.0392	4.94
u	2800 2800 84.8485	52617 -7286 -4.0298	68669 11160 2.4251	359558 65554 1	52 52 0.0268			0.0046	1.39
v	2425 2425 73.485	52589 709 0.3922	49223 -2482 -0.5392	195131 -1751 -0.0268	231553 51690 1			0.0124	7.95
y	580.9 580.9 17.603	12545.9 118.2 0.0654	12170.4 -201.3 -0.0437	48045 -278.6 -0.0043	42210.3 -639.1 -0.0124			11236.8 985.6 1	35.18

Погрешности и округления допущенные в процессе расчета могут привести к «цепной реакции ошибок», в связи с этим система (ABC) нуждается в проверки результатов.

- $b_{00} * a_{10} + b_{10} * a_{11} = 1 * (-21.3939) + 21.3939 * 1 = 0$
- $b_{11} * a_{21} + b_{21} * a_{22} = 1 * (-0.2704) + 0.2704 * 1 = 0$
- $b_{00} * a_{20} + b_{10} * a_{21} + b_{20} * a_{22} = 1 * (-15.4575) + 21.3939 * (-0.2704) + 21.2424 * 1 = 0$

Таким же образом ведется определение всех остальных величин. Кроме того, в квадратах показанным ниже, сумма произведений противоположных сторон должна быть равна «0».

$$\begin{array}{cccccccccccc}
 1 & a_{21} & a_{31} & a_{41} & B_{11} & A_{21} & A_{31} & A_{41} & a_{41} * 1 + a_{42} * b_{21} + a_{43} * b_{31} + 1 * b_{41} = 0 \\
 b_{21} & 1 & a_{32} & a_{42} & B_{21} & B_{22} & A_{32} & A_{42} & 1 * b_{41} + a_{21} * b_{42} + a_{31} * b_{43} + a_{41} * 1 = 0 \\
 b_{31} & b_{32} & 1 & a_{43} & B_{31} & B_{32} & B_{33} & A_{43} & A_{41} * B_{11} + A_{42} * B_{21} + A_{43} * B_{31} + A_{44} * B_{41} = 0 \\
 b_{41} & b_{42} & b_{43} & 1 & B_{41} & B_{42} & B_{43} & A_{44} & A_{11} * B_{41} + A_{21} * B_{42} + A_{31} * B_{43} + A_{41} * B_{44} = 0
 \end{array}$$

В результате всех вычислений произведенных в таблице (ABC) имеем уравнение $y=f(x,z,u,v)$. Коэффициенты этого уравнения представлены в столбце «у», но следует учитывать, что здесь они все, кроме $a_{55} = 1$, взяты с обратными знаками. Следовательно, искомое уравнение имеет вид.

$$Y = 18.4086 + 0.0622 x - 0.0392 z - 0.0046 u - 0.0124 v$$

Установленные весовые коэффициенты C_{ii} позволяют найти средние квадраты, соответствующие каждому отдельному фак-

тору. Для этого следует квадрат каждого коэффициента регрессии разделить на принадлежащий ему весовой коэффициент (см. столбец y в таблице ABC). Оценку значимости каждого коэффициента регрессии выполним при помощи критерия Стьюдента для $n-5 = 33-5=28$ степеней свободы, доверительной вероятности равной 0.95 и размера площади кривой плотности равной 3σ ($1-2\beta=0.9973$). Значения коэффициента Стьюдента (t) даны в таблице 2-5 [35].

В соответствии с таблицей критерий Стьюдента равен (t)=4.15

Для уравнения регрессии $t(a_{50})=501.7:35.18=14.26>4.15$

$t(a_{51})=4.27:35.18=0.12<4.15$

$t(a_{52})=4.94:35.18=0.14<4.15$

$t(a_{53})=1.39:35.18=0.04<4.15$

$t(a_{54})=7.95:35.18=0.23<4.15$

Все члены уравнения (кроме свободного) имеют слабую связь с (y).

Исключим из уравнения переменные (x) и (u) имеющие наиболее слабые связи с (y) и пересчитаем таблицу (ABC). Новое уравнение регрессии $y= 19.72+0.06z-0.0115v$. Критерий Стьюдента (t)=4.10

Значимость членов уравнения (ta_{30})=1950:33.1=58.9>4.10

$(ta_{31})= 1.67:33.1=0.05<4.10$

$(ta_{32})=6.91:33.1=0.21<4.10$

Это говорит о том, что в рассмотренном примере, свободный член уравнения имеет очень большой вес, а переменная « y » возможно зависит еще от других неучтенных показателей.

Коэффициент корреляции уравнения вычисляется без учета свободного члена по формуле

$$R = \frac{\sqrt{\sum b_{ii} \times B_{ii}}}{\sqrt{B_{55} + \sum b_{ii} \times B_{ii}}} =$$

$$\frac{\sqrt{b_{51} \times B_{51} + b_{52} \times B_{52} + b_{53} \times B_{53} + b_{54} \times B_{54}}}{\sqrt{B_{55} + b_{51} \times B_{51} + b_{52} \times B_{52} + b_{53} \times B_{53} + b_{54} \times B_{54}}}$$

Таблица 2-5

n	10	12	14	16	18	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100	200	
P=0.95	0.997	5.28	4.99	4.78	4.62	4.50	4.39	4.20	4.10	3.94	3.84	3.76	3.70	3.66	3.63	3.60	3.47
	0.95	3.26	3.08	2.96	2.86	2.79	2.72	2.61	2.54	2.44	2.37	2.33	2.30	2.27	2.25	2.23	2.14
	0.90	2.74	2.59	2.49	2.40	2.34	2.29	2.19	2.13	2.05	1.99	1.96	1.93	1.91	1.89	1.87	1.80

Таблица (ABC)

	0	z	v	y		0	z	v		y
C _{ii}	C ₀₀	C ₁₁	C ₂₂			19938271	215721	1914		
A _{ii}	A ₀₀	A ₁₁	A ₂₂			3030303	21123.7	1914		
0	S ₀₀ B ₀₀ 1	C ₁₀ A ₁₀ A ₁₀	C ₂₀ A ₂₀ a ₂₀	a ₃₀	$\frac{a^2_{30}}{C_{00}}$	33 33 1	526290 448720 -21.2424	160371 160371 -83.785	19.719	1950
Z	S ₁₀ B ₁₀ b ₁₀	S ₁₁ B ₁₁ 1	C ₂₁ A ₂₁ a ₂₁	a ₃₁	$\frac{a^2_{31}}{C_{11}}$	701 701 21.2424	19625 4734 1	926 926 0.4837	-0.0600	1.67
v	S ₂₀ B ₂₀ b ₂₀	S ₂₁ B ₂₁ b ₂₁	S ₂₂ B ₂₂ 1	a ₃₂	$\frac{a^2_{32}}{C_{22}}$	2425 2425 73.485	49223 -2289.8 -0.4837	231553 52244.4 1	0.0115	6.91
y	S ₃₀ B ₃₀ b ₃₀	S ₃₁ B ₃₁ b ₃₁	S ₃₂ B ₃₂ b ₃₂	S ₃₃ B ₃₃ 1	$\frac{B_{33}}{n-3}$	580.9 580.9 17.603	12170.4 -257.3 -0.0544	42210.3 -601.6 -0.0115	11236.8 990.3 1	33.1

Для первого уравнения регрессии $R=0.159$, для второго $R=0.144$. Низкие значения коэффициента корреляции (< 0.70) также указывают на недостаточно тесную связь между рассматриваемыми переменными.

Все вычисления по установлению уравнений множественной корреляции легко выполнять с использованием электронных таблиц «Excel», если предварительно разработать программу на 4, 3 и 2 независимых переменных. В качестве теста предлагается выполнить расчеты со следующими данными.

$n=30$

$$\begin{aligned} \Sigma x &= 77.5 & \Sigma x^2 &= 262.63 \\ \Sigma z &= 46.5 & \Sigma z^2 &= 94.55 & \Sigma xz &= 157.58 \\ \Sigma u &= 73.3 & \Sigma u^2 &= 187.22 & \Sigma xu &= 211.34 & \Sigma zu &= 126.80 & \Sigma uv &= 30.96 \\ \Sigma v &= 16.32 & \Sigma v^2 &= 26.01 & \Sigma xv &= 21.55 & \Sigma zv &= 12.93 & \Sigma uv &= 670.68 \\ \Sigma y &= 247.5 & \Sigma y^2 &= 2603.75 & \Sigma xy &= 826.66 & \Sigma zy &= 496.00 & \Sigma vy &= 72.80 \end{aligned}$$

После вычисления получим уравнения:

$$Y = 0.43318 + 1.11151 X + 3.1287 Z + 0.0379 U + 0.0061 V$$

Коэффициент корреляции $R=1.0$

Оценка значимости коэффициентов регрессии с использованием критерия Стьюдента.

$t(a_{50})$	$t(a_{51})$	$t(a_{52})$	$t(a_{53})$	$t(a_{54})$	$t(d)$
141.179	21.0765	60.1817	3.3758	2.3319	4.18

$$Y = 0.5016 + 1.1258 X + 3.1245 Z + 0.00116 U$$

Коэффициент корреляции $R=1.0$

$t(a_{40})$	$t(a_{41})$	$t(a_{42})$	$t(a_{43})$	$t(d)$
859.94	26.0	72.136	0.0111	4.15

$$Y = 0.3518 + 1.3164 X + 2.8789 Z$$

Коэффициент корреляции $R=0.99965$

$t(a_{30})$	$t(a_{31})$	$t(a_{32})$	$t(d)$
64.304	0.079	0.136	4.13

$$Y = -2.16 + 4.658 U - 1.391 V$$

Коэффициент корреляции $R=0.9195$

$t(a_{30})$	$t(a_{31})$	$t(a_{32})$	$t(d)$
3.763	115.607	7.593	4.13

$$Y = 0.0248 + 2.8965 X + 0.3089 U$$

Коэффициент корреляции $R=0.9997$

$t(a_{30})$ $t(a_{31})$ $t(a_{32})$ $t(d)$
 0.842 64295.4 21.85 4.13

$$Y = 0.2515 + 5.108 Z + 0.102 V$$

Коэффициент корреляции $R= 0.99996$

$t(a_{30})$ $t(a_{31})$ $t(a_{32})$ $t(d)$
 27.335 43647.9 10.777 4.13

Несмотря на то, что у всех уравнений коэффициент корреляции практически равен «1», значимость коэффициентов регрессии сильно меняется.

Приложение 3.

Ведомость критериев безопасности для гидроузла с грунтовой плотиной

№ п/п	Наименования критериев безопасности	ед. изм.	Значения критериев безопасности для разных состояний ГТС			
			нормальное	потенциально опасное	предварительное	аварийное
1	Уровни воды верхнего бьефа	м	393.0	394.0	угроза перелива	начало перелива
2	Уровни воды в пьезометрах при оценке устойчивости откосов для створов на ПК8+00 (ПК 22+00)	П ₂	387.51 (327.74)	388.23 (378.23)	388.95 (378.72)	Выход воды на поверхность откосов с высокой мутностью
		П ₃	384.98 (361.43)	386.13 (361.62)	387.28 (361.81)	
		П ₄	384.65 (361.43)	385.82 (361.02)	386.99 (361.22)	
		П ₅	- (360.98)	- (361.36)	- (361.74)	

3	Горизонтальные смещения гребня.	см	≤ 5	8	10	Образование продольных трещин
4	Сейсмическое воздействие	балл	≤ 6	7	8	≥ 9
5	Уровни воды в пьезометрах при оценке фильтрационной прочности грунтов для створов на ПК8+00 (ПК 22+00)					
	П ₂	м	386.07 (376.76)	385.35 (376.27)	384.63 (375.78)	Выход воды на поверхность откосов с высокой мутностью
	П ₃	м	382.68 (361.05)	381.53 (360.86)	380.38 (360.67)	
	П ₄	м	382.31 (360.42)	381.14 (360.22)	379.97 (360.02)	
	П ₅	м	- (360.22)	- (359.84)	- (359.46)	
6	Градиенты напора фильтрационного потока в ядре и в основании	- -	2.0 1.5	4.0 2.0	6.0 2.5	≥ 8 ≥ 4
7	Контролируемые расходы фильтрации	м ³ /с	0.030	0.035	0.040	0.045
8	Скорость снижения уровня воды в верхнем бьефе	м/с ут	1.0	1.5	2.0	не контролируемое
9	Локальные просадки на гребне, откосах. деформации крепления верхового откоса.	см	50	70	80	>100

10	Намокание откосов и бортов, образование родников. Выходы мутной воды.	-	Намокание откосов	Родники с чистой водой	Родники с мутной водой	Бурное течение воды высокой мутностью
11	Трещины в бетоне трубы и затворной камеры	мм	≤ 1	3	5	Полное разрушение
12	Приток воды в водохранилище	м ³ /с	≤ 710	715	969	1355
13	Сброс воды в нижний бьеф	м ³ /с	≤ 850	870	900	> 900
14	Скорости воды в камере затворов	м/с	≤ 17	20	25	> 40
15	Отложение наносов перед водоприемниками	м	371.7	374.0	Угроза завала	Завал водоприемн
16	Скорости ветра по флюгеру	м/с	20	28	30	Разрушение крепления откоса, угроза перелива воды
17	Осадка гребня плотины ниже расчетной на	см	5.0	20.0	40.0	50.0
18	Осадка секций трубы под плотиной (относительные вертикальные смещения на стыке 2-х секции)	мм	10	20	40	>50
19	Раскрытие деформационных швов	мм	2	3	4	>5
20	Напряжения в бетоне и арма-	кг/с м ²	15.0/350 0	16.0/375 0	18.0/390 0	20.0/400 0

	туре трубы R_{bi}/R_s					
21	Отказы в работе механического оборудования	-	вибрация	резкие удары	трещины в металле	потеря работоспособности.
22	Прекращение подачи электроэнергии в период прохождения максимальных расходов.	час	1.0	2.0	3.0	>3.0

Приложение 4.

Определение численных значений вероятности событий

Для оценки уровня риска аварии ГТС необходимо знать вероятность возникновения каждого события, входящего в состав «древа событий».

Методика оценки вероятности опасного сейсмического воздействия [24] основана на сейсмическом районировании территории по степени опасности отдельных элементарных участков, расположенных в радиусе 200 км. от ГТС. Территория в пределах указанных границ разбивается на участки одинакового размера 10x10 км. По каждому участку поверхности производится сбор данных:

- о геологических и геофизических условиях очагов землетрясений, характеристики колебаний грунта при различных магнитудах. Для практических целей достаточно учитывать землетрясения с $M \geq 3$.

- повторяемость землетрясений и изменения амплитуды колебаний грунта в диапазоне расстояний от 0 до 200 км.

Зависимость частоты повторяемости землетрясений представляется в виде уравнения

$$\text{Log } N = a - b * M,$$

где N – количество событий с магнитудой M за определенный временной интервал (год).

Затухание амплитуды колебаний в зависимости от расстояния $A_{\max} = f(R)$ определяется по следующим уравнениям, полученным В.В. Штейнбергом.

$$A_{\max} = \exp(-0.0916 R + 4.734) \quad 3.6 < M < 4.5$$

$$A_{\max} = \exp(-0.042 R + 5.47) \quad 4.6 < M < 5.5$$

$$A_{\max} = \exp(-0.0272 R + 6.102) \quad 5.6 < M < 6.5$$

$$A_{\max} = \exp(-0.018 R + 6.63) \quad 6.6 < M < 7.5$$

где A_{\max} – максимальное ускорение, R – гипоцентрального расстояние.

По Ю.К. Чернову [49] параметры сильных движений грунта зависят от гипоцентрального расстояния только в пределах так называемой ближней зоны, размеры которой R_0 определяются величиной магнитуды землетрясения, размерами очага и его минимально возможной глубиной. Величину R_0 можно приблизительно оценить по формуле $\log R_0 = 0.195 M + 0.039$.

При $R_0 < R$ параметры колебаний практически не зависят от R . Амплитуда ускорений в ближайшей зоне A_0 определяется по формуле $\log A_0 = 0.15 M + 1.63$. За пределами ближней зоны изменения A_{\max} с расстоянием определяется по формуле

$$\log A_{\max} = \log A_0 + a * \log (R/R_0),$$

где $(a) = 0.06 M - 1.97$ – коэффициент затухания.

Годовая вероятность превышения максимальных ускорений за определенный интервал времени рассчитывается по экспоненциальному статистическому закону $P = 1 - e^{-1/t}$, где t – периоды времени. Полученные значения A_{\max} и t используются для построения зависимости $A_{\max} = f(t)$ для периода 100-10.000 лет.

Для синтеза акселерограмм колебаний грунта в данном районе используется программа М.П. Салганика ACL-RAN. Предварительно для принятых в расчет максимальных ускорений и амплитуд, вычисляют ширину импульса (d) по формуле $\log d = 0.2 M + 0.5 \log R - 1.3$. и преобладающие периоды (T) по формуле $\log T = 0.15 M + 0.25 \log R - 1.9$

Поскольку для вышеперечисленных расчетов необходимо иметь результаты сейсмометрических наблюдений, а также карты эпицентров землетрясений района расположения ГТС, сейсмогенных зон и основных разрывных нарушений, такая работа должна поручаться специализированным организациям.

Гравитационные волны, возникающие при землетрясениях, зависят от величины сейсмического воздействия. Вероятность их возникновения можно приравнять к вероятности землетрясения. Высота волн определяется по [41].

Вероятность событий, связанных с гидрологическими условиями района расположения ГТС, регламентируются нормами. Вероятность максимальных расходов воды, скорости ветра, высоты ветровых волн устанавливаются СНиП [39,44] в зависимости от класса ГТС

Расчетные уровни воды в верхнем и нижнем бьефах ГТС, соответствующие им положения депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле грунтовых сооружений определяются условиями пропуска расчетных расходов воды. Их вероятность возникновения соответствует вероятности расхода воды, проходящего через ГТС. Таким образом, вероятность большей части событий, составляющих «дерево событий», заранее известна и должна соответствовать нормативным требованиям. При оценке уровня риска аварии ГТС неизвестными являются вероятности наступления событий, которые определяют несущую способность ГТС, фильтрационную прочность грунтов оснований и тела грунтовых сооружений, а также событий, связанных с работоспособностью механического оборудования водопропускных сооружений, средств управления этим оборудованием и надежностью энергоснабжения.

- Определение вероятности перелива воды через гребень ГТС

Для недопущения перелива воды через гребень плотин и ограждающий дамб нормами регламентируется высота превышения гребня этих сооружений над высотой наката ветровых, гравитационных и других волн на верховой откос ГТС. Когда, в целях снижения высоты грунтовых ГТС, на гребне сооружений

устанавливаются волнозащитные конструкции, предъявляются требования к высотному положению гребня противофильтрационных конструкций (ядра, экрана), который должен быть выше максимального уровня воды в верхнем бьефе. Поскольку в период эксплуатации, ГТС подвергаются деформациям (осадки, смещения, наклоны, осадки ГТС, связанные с «разжижением» грунтов при землетрясениях), то величина запаса верха сооружения над высотой наката волны, или гребня противофильтрационных конструкций над МПУ, постоянно меняется во времени и обладает признаками случайного события. Методику определения численных значений вероятности вышеперечисленных событий рассмотрим на отдельных примерах.

- Определение вероятности ремонтов механического оборудования и перебоев в энергоснабжении.

Механическое оборудование, оборудование систем управления и энергоснабжения гидротехнических сооружений имеют меньший срок службы, нежели ГТС в целом, поэтому в процессе эксплуатации они нуждаются в постоянном уходе, ремонте и модернизации. Особую опасность представляют собой случаи, когда ремонт оборудования или отключение энергоснабжения происходит во время прохождения паводка, что приводит к сокращению пропускной способности водопропускных сооружений или полному выходу их из строя. Служба эксплуатации обязана фиксировать все случаи нарушения работы водопропускных сооружений и каналов, учитывать продолжительность ремонтных работ и отключения электроэнергии, а также продолжительность прохождения всех паводков в период половодья. Результаты учета и наблюдений за прошедший пятилетний период должны обрабатываться и анализироваться.

Например, за пятилетний период суммарное время прохождения паводков составило 1400 часов. При этом в течение $n=800$ часов всё оборудование работало исправно ($m=0$), в течение $n=450$ часов- были остановки на ремонт продолжительностью до одного часа ($m=1$). Для паводков продолжительностью $n=100$ часов- остановки на ремонт достигали от одного до двух часов ($m=2$). Для суммарной продолжительности паводков $n=30$ часов

были остановки на ремонт продолжительностью- 3 часа (m=3) и n=20 часов-4 часа (m=4). Ремонт продолжительностью более 4-х часов не было.

Используя закон распределения редких событий (Пуассона) определим вероятность выполнения ремонтов разной продолжительности.

$$P_n(m) = \frac{a^m * e^{-a}}{m!}, \text{ где } a = \frac{\sum m * n}{\sum n}, m != 1*1*2*3$$

Результаты расчетов даны в таблице 4-1

Таблица 4-1

m	n	m*n	Pn(m)
0	800	0	0.5688
1	450	450	0.3209
2	100	200	0.0906
3	30	60	0.0170
4	20	80	0.0024
5	0	0	0.0003
	1400	790	1.0

Из таблицы видно, что ремонты продолжительностью 3 и 4 часа имеют вероятность 0.017 и 0.0024 соответственно. Если принять во внимание, что затвор любого отверстия на данном сооружении может быть поднят в ручную или с использованием подручных механизмов в течении 3-х часов, необходимо проверить, как отразится событие вероятностью равной 0.017 на снижении пропускной способности сооружения, на сколько поднимется уровень воды в верхнем бьефе, не приведет ли это событие к переливу воды и разрушению ГТС.

Аналогичным методом можно оценить вероятность ремонтов оборудования систем управления затворами водопропускных сооружений и перебоев в энергоснабжении ГТС.

- Определение вероятности перелива воды через верх водоподпорного сооружения при воздействии ветровых и гравитационных волн.

Возвышение гребня водоподпорного сооружения определяется для трех случаев стояния уровня воды в верхнем бьефе: НПУ, РПУ и МПУ. Величина возвышения определяется по формуле: $h_s = \Delta h_{set} + h_{run 1\%} + a$, где Δh_{set} – ветровой нагон воды, $h_{run 1\%}$ – высота наката ветровой волны, a – запас возвышения гребня. Ветровой нагон воды для речных ГТС достигает нескольких (мм.) и не имеет принципиального значения. Высота наката ветровой волны зависит от высоты волны и конструкции верхового откоса ГТС. Запас (a) принимается равным 0,5 м, а при высоте волны более 5 м $a = 0,1h_{1\%}$ ($h_{1\%}$ – высота волны 1% вероятности превышения). Отметку гребня принимают с учетом строительного подъема, который определяется прогнозируемой осадкой ГТС в эксплуатационный период.

Методика определения характеристик ветровых волн, заложенная в СНиП, универсальная. Она распространяется на все виды гидрологических объектов: моря, озера, реки и искусственные водоемы, на любые конфигурации водных акваторий и конструкции ГТС. Она использует многочисленные переходные коэффициенты и графические приложения, а результаты расчетов, как и многие другие гидрологические характеристики, имеют прогнозные значения. Для пользования методикой СНиП необходимо иметь определенные навыки и опыт. Поскольку на территории бывшего СССР имелись многочисленные гидрометрические станции, находящиеся на государственном содержании, то дополнительные метеорологические наблюдения на ГТС, как правило, не предусматривались. Вопросы обеспечения безопасности ГТС выдвигают дополнительные требования к организации натуральных наблюдений в части изучения воздействия ветровых волн на ГТС.

В первую очередь необходимо на наиболее опасных ГТС проводить постоянные наблюдения за направлением и скоростью ветра, а также за величиной наката ветровых волн на верховой откос водоподпорных сооружений в периоды, когда горизонты воды в верхнем бьефе находятся на уровне расчетных (НПУ и МПУ). Известно, что высота волн при одной и той же скорости ветра не постоянна. Высокие волны сменяются более

низкие и наоборот. Наибольшая высота наката не обязательно соответствует наиболее высокой волне. Наблюдения должны проводиться для установления зависимости средней высоты наката волн на откос и ее среднего квадратичного отклонения от разной по величине скорости ветра. Зависимости должны быть достаточно надежны для того, чтобы можно было их использовать для прогноза высоты наката волн при скоростях ветра близких к расчетным.

Отметки гребня сооружений и противофильтрационных конструкций постоянно меняются. Это связано с осадками и деформациями ГТС. Осадка начинается сразу после начала возведения сооружения, но к концу строительства полностью не заканчивается. Обычно в период строительства наблюдения за осадками не ведутся, поэтому величину осадки ГТС, которая будет происходить в период эксплуатации, определяют ориентировочно. Кроме осадок, сооружения подвергаются упругим деформациям под действием внешних переменных по величине нагрузок. К таким нагрузкам относится вода, при подъеме ее уровня в верхнем бьефе деформации увеличиваются, при снижении деформации меняют свой знак (плюс на минус). Поэтому для ГТС, расположенных в северном полушарии, наиболее опасным является период весеннего половодья, когда уровни воды и деформации сооружений максимальные и метеорологические условия неустойчивые. В этот период необходимо проводить более частые геодезические наблюдения, чтобы выявить все особенности деформаций ГТС.

Пример. В результате наблюдений на одном из ГТС с марта по июнь выполнено 40 измерений деформаций плотины. Высота плотины относительно НПУ изменялась с 3,50 м до 3,24 м. Результаты измерений были разбиты на 9 интервалов. Средние значения интервалов (**x**) и количество наблюдений, подающих в каждый интервал (**m**) показаны в таблице 4-2 (графы 1 и 2). Из значений графы 1 вычитаем 3.37 (среднее значение) и вносим в графу-3. Как получены данные граф 4, 5, 6 и 7 видно из таблицы. Под таблицей против каждой из граф даны средние значения путем деления сумм на 40. Полученные результаты исполь-

зуются для вычисления величин среднего квадратичного отклонения S , коэффициента асимметрии A и эксцесса E . Параметр функции Лапласа (t) определяется с использованием данных графы 3 и значений \bar{x} и S . Ординаты плотности нормального закона распределения (графа 9) определяются по формуле

$$\varphi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-0.5(t)^2}.$$

Ординаты теоретической кривой плотности распределения (графа 10) получается путем умножения данных графы 9 на величину $0.03 \cdot 40 / S$, где $(3.49 - 3.46) = 0.03$ шаг интервала, 40 - сумма данных графы 2, S - среднее квадратичное отклонение). Графы 11 и 12 это данные граф 2 и 10 в нарастающем порядке. В графу 13 помещены значения разности граф 11 и 12. Тесноту схождения эмпирической кривой распределения и теоретической оцениваем с использованием критерия Колмогорова (λ).

критерий Колмогорова

$$\lambda = \sqrt{\frac{(\Delta m)^2}{\sum m}}, \text{ при } \lambda \leq 0,75 \quad P(\lambda) = 1 - \frac{e^{-0.5(6.6 - 8.4 \cdot \lambda)^2}}{\sqrt{2\pi}}$$

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum xm}{m} = \frac{133,93}{40} = 3.34825$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum x^2 * m}{\sum m} - \left(\frac{\sum xm}{\sum m}\right)^2} = \sqrt{\frac{0.1719}{40} - \left(\frac{-0.87}{40}\right)^2} = 0.061842$$

$$A = \frac{\sum x^3 * m}{\sum m * S^3} = \frac{-0.0081}{40 * 0.061842^3} = -0.85334 \quad E = \frac{\sum x^4 * m}{\sum m * S^4} - 3 =$$

$$\frac{0.001622}{40 * 0.061842^4} - 3 = -0.22687$$

Φ_2 , Φ_3 и Φ_4 - вторая, третья и четвертая производные от плотности распределения нормального закона.

$$\Phi_2 = (t^2 - 1) \frac{e^{-0.5t^2}}{\sqrt{2\pi}}, \quad \Phi_3 = (3t - t^3) \frac{e^{-0.5t^2}}{\sqrt{2\pi}},$$

$$\Phi_4 = (3 - 6t^2 + t^4) \frac{e^{-0.5t^2}}{\sqrt{2\pi}}$$

Функция плотности распределения Лапласа-Шарье имеет вид

$$\varphi(x) = [\varphi(x)_{\text{норм}} + \frac{A}{6} \cdot \Phi_3 + \frac{E}{24} \cdot \Phi_4]$$

Интегральная функция этого закона имеет вид

$$P(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^x e^{-0.5t^2} + \frac{A}{6} \cdot \Phi_2 + \frac{E}{24} \cdot \Phi_3$$

Для нормального закона

$$\lambda = \sqrt{\frac{1.497^2}{40}} = 0.237,$$

для закона Лапласа-Шарлье

$$\lambda = \sqrt{\frac{2.646^2}{40}} = 0.418$$

$P(\lambda)_{\text{норм}} = 0.9999$ и $P(\lambda)_{\text{Лаш}} = 0.9966$ Несмотря на то, что $A \neq 0$ и $E \neq 0$, при нормальном законе распределения эмпирические частоты имеют более тесную связь с теоретическими, чем при законе Лапласа-Шарлье, поэтому для оценки вероятности перелива воды через гребень плотины будем использовать нормальный закон распределения с $\bar{x} = 3.34825$ и $S = 0.061842$.

Анализ данных измерений деформаций по плотине
(с использованием нормального закона распределения)

Таблица 4-2

x	m	x_i	$x_i m$	$x_i^2 m$	$x_i^3 m$	$x_i^4 m$	$t = (\bar{x} - x_i) / s$	$\varphi(t)$	m_i <small>$9 \cdot 19.404$</small>	Σm	Σm_i	11-12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3.49	1	0.12	0.12	0.0144	0.00173	$2.07 \cdot 10^{-4}$	2.29213	0.02884	0.55969	1	0.560	0.440
3.46	2	0.09	0.18	0.0162	0.00146	$1.31 \cdot 10^{-4}$	1.80702	0.07796	1.51268	3	2.072	0.928
3.43	3	0.06	0.18	0.0108	0.00065	$3.89 \cdot 10^{-5}$	1.32192	0.16651	3.23109	6	5.303	0.697
3.40	5	0.03	0.15	0.0045	0.00014	$4.05 \cdot 10^{-6}$	0.83681	0.28109	5.45441	11	10.76	0.242
3.37	7	0	0	0	0	0	0.35170	0.37501	7.27688	18	18.03	-0.04
3.34	7	-0.03	-0.21	0.0063	-0.0002	$5.67 \cdot 10^{-6}$	-0.1334	0.39541	7.67257	25	25.71	-0.71
3.31	6	-0.06	-0.36	0.0216	-0.0013	$7.77 \cdot 10^{-5}$	-0.6185	0.32949	6.39344	31	32.10	-1.10
3.28	5	-0.09	-0.45	0.0405	-0.0037	$3.28 \cdot 10^{-4}$	-1.1036	0.21698	4.21043	36	36.31	-0.31
3.25	4	-0.12	-0.48	0.0576	-0.0069	$8.29 \cdot 10^{-4}$	-1.5887	0.11293	2.19137	40	38.50	1.497
Σ	40	Σ	-0.87	0.1719	-0.0081	0.001622						

$$\bar{x} = -0.02175 \quad 0.0043 \quad -0.0002 \quad 4.06 \cdot 10^{-5}$$

Анализ данных измерений деформаций плотины
(с использованием закона распределения Лапласа-Шарлье)

Таблица 4-3

x	m	x _i	x _i *m	$\frac{x_i - \bar{x}}{s}$	$\varphi(t)$	$\frac{\Lambda * \Phi_3}{6}$	$\frac{E * \Phi_4}{24}$	6+7+8	m _i (9*19.404)	Σm	Σm_i	11-12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
3.49	1	0.12	0.12	2.29213	0.02884	0.02119	0.00025	0.05029	0.975786	1	0.976	0.024
3.46	2	0.09	0.18	1.80702	0.07796	0.00532	0.00437	0.08764	1.700622	3	2.676	0.324
3.43	3	0.06	0.18	1.32192	0.16651	-0.0392	0.00698	0.13428	2.605544	6	5.282	0.718
3.40	5	0.03	0.15	0.83681	0.28109	-0.0769	0.00189	0.20605	3.998181	11	9.280	1.720
3.37	7	0	0	0.35170	0.37501	-0.0540	-0.0081	0.31300	6.073559	18	15.35	2.646
3.34	7	-0.03	-0.21	-0.1334	0.39541	0.02237	-0.0108	0.40696	7.896842	25	23.25	1.749
3.31	6	-0.06	-0.36	-0.6185	0.32949	0.07586	-0.0027	0.40270	7.814094	31	31.06	-0.07
3.28	5	-0.09	-0.45	-1.1036	0.21698	0.06069	0.00579	0.28347	5.500535	36	36.57	-0.57
3.25	4	-0.12	-0.48	-1.5887	0.11293	0.01215	0.00616	0.13124	2.546634	40	39.11	0.888
Σ	40	Σ	-0.87									

$$\bar{x} = -0.02175$$

Кроме того, по результатам наблюдений за режимом ветра и волн были получены зависимости:

- высота наката волн на откос $h_{\text{гун}}=0,15+1,25 \log V$,
- коэффициент вариации наката волн $C_v=0,14+0,002 V$

Отметка НПУ= 0 (условно принята за ноль), РПУ=0,50 м (пропуск паводка, входящего в основное сочетание нагрузок, при условии, что одно из отверстий сброса в течении 3-х часов было закрытым), и при РПУ= 0.56 м (отверстие было закрыто в течении 4-х часов). Условная отметка МПУ- 0, 70 м. Расчетные скорости ветра при НПУ- $V_{2\%}=30$ м/с, РПУ- $V_{20\%}=25$ м/с и МПУ- $V_{30\%}=20$ м/с. Расчет вероятности перелива воды через гребень плотины ведем в таблице 4-4. Вначале определяются отметки верха волн наката для указанных выше 4-х случаев, затем для

$$t = \frac{H_{nl} - \bar{x}}{S}$$

определяется величина вероятности осадки гребня плотины, при которой возможен перелив воды.

Таблица 4-4

Определение верха наката волны относительно НПУ.					Вероятность осадки гребня плотины до отметок равных Н(пл)		
УВБ	P	t _{1%}	$h_{\text{наката}} = \bar{h} * (1 + C_v * t) + \Delta$	$h_{\text{накат}}$	H (пл)	t	P=φ(t)
НПУ	0.01	2.32	$2.00 * (1 + 0.20 * 2.32) + 0$	2.928	2.928	-6.50	$5.23 * 10^{-12}$
РПУ	0.01	2.32	$1.90 * (1 + 0.19 * 2.32) + 0,50$	3.233	3.233	-1.86	0.03144
	0.01	2.32	$1.90 * (1 + 0.19 * 2.32) + 0.56$	3.293	3.293	-0.893	0.18593
МПУ	0.01	2.32	$1.77 * (1 + 0.18 * 2.32) + 0.70$	3.209	3.209	-2.25	0.01222

Значения функции нормального закона P=φ(t) определяем по формуле

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-t} e^{-0.5(t)^2} dt$$

Из таблицы видно, что вероятность перелива воды через гребень плотины имеет очень высокое значение (0.18953) при пропуске паводка, относящегося к основному сочетанию нагрузок, с остановкой на ремонт одного из отверстий сбросного сооружения на 4-е часа. Сокращение времени ремонта на один час снижает вероятность перелива до 0.03144 или в шесть раз.

Отметку гребня плотин, возводимых в сейсмических районах в соответствии со СНиП должна назначаться с учетом высоты гравитационной волны, возникающей в водохранилищах в случае образования в нем сейсмоструктурных деформаций. Для определения вероятности перелива воды через гребень водоподпорного сооружения при сейсмическом воздействии необходимо использовать результаты расчета напряженно-деформированного состояния ГТС с использованием математической модели (конечно-разностная аппроксимация сооружения с разбивкой на зоны с различными свойствами).

Расчеты напряженно-деформированного состояния грунтовых сооружений должны учитывать следующие факторы, которые влияют как на статическое состояние, так и на сейсмостойкость ГТС.

1. Прочностные и деформационные свойства грунтов применительно к теории пластического течения с упрочнением (нелинейность и неоднородность связи напряжений с деформациями).
2. Последовательность возведения ГТС и заполнения водохранилища.
3. Многофазность расчетной области (скелет грунта, поровая жидкость, воздух в порах).
4. Процесс консолидации в зонах расчетной области из глинистых грунтов с низким коэффициентом фильтрации.

Когда расчеты выполняются для действующего сооружения, его напряженно-деформируемое состояние сравнивается с данными натурных наблюдений и результатами экспериментальных исследований грунтов непосредственно в сооружении, на основании которого решается вопрос о идентичности расчетной мо-

дели с действующим ГТС.

Полученное в результате расчета напряженно-деформируемое состояние ГТС от статических нагрузок принимается за начальное при выполнении расчетов на сейсмическое воздействие, имитируемое синтезированной акселерограммой.

При выполнении расчетов на сейсмические воздействия, кроме указанных выше факторов, должны учитываться особенности поведения грунтов при динамических воздействиях (дополнительное уплотнение или разуплотнение скелетного материала и запаздывание деформаций во времени, обусловленное наличием вязких свойств, грунтов), а также взаимодействие скелетного материала с поровой жидкостью и водохранилищем. То есть, в динамических расчетах задача гидроупругости должна решаться с учетом особенности поведения грунтов под нагрузкой и многофазность материалов.

Учет в расчетах реальных прочностных свойств грунтов, слагающих тело плотины, позволяет ответить на вопрос способно сооружение или нет воспринять заданный уровень нагрузок. Если после окончания землетрясения перемещения и деформации во всей расчетной области стабилизируются, то сооружение в целом может воспринять заданное воздействие. Если в отдельных зонах наблюдаются прогрессирующие накопления перемещений и деформаций, это свидетельствует о неспособности сооружения без деформаций воспринимать заданные нагрузки.

При моделировании сейсмического воздействия на ГТС необходимо использовать акселерограммы, полученные при оценке сейсмической опасности сооружения, расположенного в заданном районе. Для расчетов должны использоваться синтезированная акселерограмма с различными пиковыми ускорениями с повторяемостью землетрясений 1 раз в 100-10 000 лет. Необходимо выполнить 10-15 расчетов с разными деформационными свойствами грунтов (см. оценку вероятности устойчивости откосов) с тем, чтобы получить различные величины вертикальных остаточных смещений (осадки) гребня ГТС, их закон плотности распределения и его статистические характеристики. Используя рекомендации [41] определяется высота гравитацион-

ной волны в водохранилище после воздействия землетрясения и высоту наката ее на откос ГТС. Далее, выполняя расчеты по аналогии с таблицей 4-4, определяем величину вероятности перелива гравитационной волны через деформированной в результате землетрясения гребень плотины. Величину вероятности возникновения гравитационной волны принимаем равной вероятности самого землетрясения.

- Определение вероятности высотного положения поверхности кривой депрессии, расходов фильтрации и возникновения суффозионных явлений в теле и основании ГТС.

Положение кривой депрессии, расходы фильтрации и наличие суффозионных процессов в грунтах тела и основания ГТС должны контролироваться при выполнении натурных наблюдений. В составе КИА гидроузла должны находиться уровнемеры, установленные в верхнем бьефе для контроля горизонтов воды, пьезометры для контроля поверхности кривой депрессии и пьезометрических напоров в заданных точках тела и основания плотин и водомерные устройства, позволяющие определять расходы воды фильтрации. Так как пьезометров для контроля пьезометрических напоров обычно устанавливают ограниченное количество, недостаточное для построения гидродинамической сетки фильтрационного потока, то предварительно разрабатывается модель фильтрации в сооружении, а данные наблюдений используются только для идентификации этой модели. Контроль суффозионных процессов осуществляется путем вычисления градиентов напора для каждого отдельного участка гидродинамической сетки, ограниченного линиями напора и линиями тока и определения коэффициента запаса как отношение допустимой величины градиента к вычисленной (фактической) величине.

Для определения вероятности высотного положения поверхности кривой депрессии и расходов фильтрации по данным натурных наблюдений строятся графики отметок поверхности кривой и величин расходов фильтрации по месяцам года. Определяются амплитуды колебаний уровней и расходов воды, которые делятся на 8-12 интервалов. Для каждого интервала устанавливаются количество календарных месяцев, которые охватывает данный интервал. Имея такие данные за срок 3-5 лет,

используя закон экспоненциального распределения, можно оценить вероятность подъема уровня кривой депрессии на заданную отметку или заданной величины расхода фильтрации.

Пример: отметки уровней воды в пьезометре Π_1 за период наблюдений колебались от 4 до 24 м. Величина максимальной амплитуды равна $24-4 = 20$ м. Примем количество интервалов равным 10 с шагом 2 м. В таблицу включены данные наблюдений за 5 лет. Оценка вероятности подъема уровней воды в пьезометре на заданную отметку выполним в таблице 4-5.

Пример: расходы фильтрации в створе I-I в течение года колебались от 0.6 до 3.0 л/с. Величина максимальной амплитуды равна $A = 3.0 - 0.6 = 2.4$ л/с. Принимаем количество интервалов - 8 с шагом 0.3 л/с. Используя данные наблюдений за 3 года, выполним оценку вероятности появления расхода фильтрации заданной величины в таблице 4-6.

Оценку фильтрационной прочности грунтов тела и основания ГТС выполняется, используя результаты определения градиентов напора фильтрационного потока на модели фильтрации. Гидродинамическая сетка в основании и теле грунтового ГТС имеет 5-6 линий тока, которые разделяются линиями равных напоров на 50-60 «квадратов». Для каждого такого участка основания или тела грунтового ГТС вычисляется градиент напора. Зная характеристики грунтов и конструкции противофильтрационных устройств, по [28, 29, 40, 42, 43 45] принимают допустимые значения градиентов напора. Отношение допустимого значения градиента к вычисленному по гидродинамической сетке является коэффициентом запаса фильтрационной прочности грунтов для каждого «квадрата» основания и конструкции противофильтрационных устройств.

Существует большое разнообразие конструкций возводимых из грунтов. Тело сооружения может быть отсыпано из однородного грунта, с центральным или наклонным ядром, с экраном, с диафрагмой. Основание сооружения может быть из однородных и неоднородных грунтов. Отдельные участки основания могут закрепляться завесами различных конструкций или понуром. Существуют различные конструкции дренажных устройств. У всех таких разновидностей грунтовых сооружений

будет своя индивидуальная схема (гидродинамическая сетка) фильтрационного потока, свои градиенты напора и закономерности распределения их плотности.

Таблица 4-5

№	интервал	середина ин-ла (x)	частота m	mx	t	f(x)	частота m ₁	нарост. итоге m ₁	нарост. итоге m	разность m ₁ -m
1	0-2	1	60	60	0.1905	0.1574	63.0	63.0	60	3.0
2	2-4	3	40	120	0.5714	0.1076	43.0	106.0	100	6.0
3	4-6	5	30	150	0.9524	0.0735	29.4	135.4	130	5.4
4	6-8	7	25	175	1.3333	0.0502	20.1	155.5	155	0.5
5	8-10	9	15	135	1.7143	0.0343	13.7	169.2	170	0.8
6	10-12	11	10	110	2.0952	0.0234	9.4	178.6	180	1.4
7	12-14	13	8	104	2.4762	0.0160	6.4	185.0	188	3.0
8	14-16	15	6	90	2.8571	0.0109	4.4	199.4	194	5.4
9	16-18	17	4	68	3.2381	0.0075	3.0	202.4	198	4.4
10	18-20	19	2	38	3.6190	0.0051	2.0	204.6	200	4.6

200 1050

Примечание: первый интервал данных должен начинаться с «0».

$$\bar{x} = \frac{\sum mx}{\sum m} = \frac{1050}{200} = 5.25$$

$t = x/\bar{x}$ Критерий Колмогорова $\lambda = \sqrt{\frac{x^2}{m}} = \sqrt{\frac{6^2}{200}} = 0.424$ вероятность совпадения кривых плотности равно

$P(\lambda) = 0.9923$. Вероятность подъема уровня воды в пьезометре на отметку 24 м равна $x = 24 - 4 = 20$ $t = x/\bar{x} = 20/5.25 = 3.81$ $P = 1 - (1 - e^{-t}) = e^{-t} = 2.71828^{-3.81} = 0.022$.

Таблица 4-6

№	интервал	середина инт-ла (x)	частота m	mx	t	f(x)	частота m ₁	нарост. итоге m ₁	нарост. итоге m	разность m ₁ -m
1	0-0.3	0.15	36	5.4	0.2457	1.2812	40.4	40.4	36	4.4
2	0.3-0.6	0.45	26	11.7	0.7371	0.7838	24.7	65.1	62	3.1
3	0.6-0.9	0.75	18	13.5	1.2285	0.4795	15.1	80.2	80	0.2
4	0.9-1.2	1.05	12	12.6	1.7199	0.2933	9.2	89.4	92	2.6
5	1.2-1.5	1.35	6	8.1	2.2113	0.1795	5.7	95.1	98	2.9
6	1.5-1.8	1.65	4	6.6	2.7027	0.1098	3.5	98.1	102	3.4
7	1.8-2.1	1.95	2	3.9	3.1941	0.0672	2.1	100.7	104	3.3
8	2.1-2.4	2.25	1	2.3	3.6855	0.0411	1.3	102	105	3.0

105 64.1

$$\bar{x} = \frac{\sum mx}{\sum m} = \frac{64.1}{105} = 0.6105 \quad t = x/\bar{x} \quad \lambda = \sqrt{\frac{x^2}{m}} = \sqrt{\frac{4.4^2}{105}} = 0.43$$

$$P(\lambda) = 0.9923.$$

Вероятность появления расхода фильтрации $q = 3.0$ л/с равна. $A = 3.0 - 0.6 = 2.4$ $t = 2.4/0.6105 = 3.99$
 $P = e^{-3.99} = 0.0185$

Для отдельных участков (квадратов) тела сооружения и его основания градиенты напора могут иметь незначительные величины и значения коэффициентов запаса (K_d/K_ϕ) будут чрезмерно большими. Поэтому участки с $K_d/K_\phi \geq 10-15$ следует исключать как заведомо надежные, либо ограничивать их численные значения. С другой стороны, отношение $K_d/K_\phi \geq 1$. Где это условие не обеспечено, необходимо выполнить дополнительные противофильтрационные мероприятия, чтобы не допустить возникновения суффозии.

Полученные таким образом значения коэффициентов запаса градиентов напора необходимо расположить в убывающем порядке и определить наибольшее и наименьшее их численные значения. Установленные границы зоны рассеивания разделить на интервалы, число которых рекомендуется принимать в пределах от 8 до 15. Определить для каждого интервала частоты и произвести вычисления (см. таблицы 4-2, 4-3 и 4-5) по установлению закона распределения плотности (экспоненциальный, Лапласа-Шарье или нормальный). После установления вида закона распределения плотности, определяются значения вероятности возникновения предупреждающего (K_1) или предельного (K_2) величин диагностических показателей фильтрационной прочности грунтов (в зависимости от сочетания нагрузок, для которых построена модель фильтрации).

В таблице 4-7 показан пример расчета предельного значения вероятности возникновения суффозии ($K_d/K_\phi \geq 1$). По данным модели фильтрации плотины имеем 50 значений градиентов напора и для каждого из них в соответствии с [28, 29, 40, 42, 43 и 45] установлены допустимые значения и коэффициенты запаса, значения которых изменялись от 1 до 10. Принято 9 интервалов с шагом равным-1. Расчетом установлено, что наилучшую сходимость экспериментальных и теоретических частот имеет закон распределения плотности Лапласа-Шарлье. Вероятность возникновения суффозии при $K_d/K_\phi=1$ равна $P= 0.00698$.

Определение вероятности возникновения суффозии в грунтовой плотине
(плотность распределения по закону Лапласа-Шарлье)

Таблица 4-7

инт-вал -x	частота m	x ₁	mx ₁	mx ₁ ²	mx ₁ ³	mx ₁ ⁴	t	φ(t)	$\frac{A}{6} * \Phi_3$	$\frac{E}{24} * \Phi_4$	9+10+11	$\frac{m_1}{12*24.0}$ 33	Σm	Σm _i	12-13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1.5	3	-4	-12	48	-192	768	-	0.09380	0.0010	0.01567	0.11048	2.655	3	2.655	0.345
2.5	5	-3	-15	45	-135	405	-1.2208	0.18934	0.0208	0.01966	0.22980	5.523	8	8.178	-0.178
3.5	10	-2	-20	40	-80	160	-0.7402	0.30334	0.0328	-0.0001	0.33604	8.076	18	16.254	1.746
4.5	9	-1	-9	9	-9	9	-0.2596	0.38573	0.0175	-0.0280	0.37524	9.018	27	25.272	1.728
5.5	7	0	0	0	0	0	0.2211	0.38931	-0.0151	-0.0294	0.34474	8.285	34	33.557	0.443
6.5	6	1	6	6	6	6	0.7018	0.31187	-0.0327	-0.0025	0.27666	6.649	40	40.206	-0.206
7.5	5	2	10	20	40	80	1.1824	0.19830	-0.0224	0.0190	0.19491	4.684	45	44.890	0.110
8.5	3	3	9	27	81	243	1.6631	0.10007	-0.0023	0.0166	0.11435	2.748	48	47.638	0.362
9.5	2	4	8	32	128	512	2.1437	0.04009	0.0082	0.0039	0.05212	1.253	50	48.891	1.109
49.5	50		-23	227	-161	2183									
			-0.46	4.54	-3.22	43.66									

$$\bar{X} = 5.04 \quad \text{Критерий Колмогорова } \lambda = \sqrt{\frac{1.746^2}{50}} = 0.247 \quad P_{(\lambda)} \cong 1.0$$

$$S = 2.08048$$

$$A = -0.35757 \quad t = \frac{1 - 5.04}{2.08048} = -1.94186 \quad P = 0.026077 - 0.01 - 0.0091 = 0.00698.$$

$$E = -0.6696$$

- Определение вероятности потери устойчивости откосов грунтовых сооружений.

Устойчивость откосов грунтовых сооружений определяется для случаев сейсмического воздействия на плотину и трех уровней воды в верхнем бьефе МПУ, НПУ и быстрое снижение уровня воды в верхнем бьефе от НПУ до уровня мертвого объема. В каждом из этих расчетных случаев устойчивость откосов зависит от высотного положения кривой депрессии, плотности грунтов и их прочностных показателей. Выше были рассмотрены случаи определения вероятностей для контролируемых показателей (событий) входящий в «древо событий», кроме влияния показателей грунтовых материалов на устойчивость ГТС. Влияние этих показателей на устойчивость грунтовых сооружений можно учесть через коэффициент устойчивости откосов.

Численные значения показателей плотности, модуля деформации, угла внутреннего трения и сцепления грунтовых материалов, из которых возводятся сооружения, не постоянны и могут меняться в широких пределах. Пределы изменений свойств материалов устанавливаются в процессе лабораторных исследований образцов грунта отобранных в карьерах. Показатели грунтов, при укладке в сооружение, контролируются строительными лабораториями. Их значения могут отличаться от проектных. Далее в процессе возведения и последующей эксплуатации сооружения, под действием внешних факторов и собственного веса, плотность грунтов может увеличиваться, а в отдельных случаях даже снижаться (явление разжижения при землетрясении). Для оценки безопасности ГТС, кроме требований норм по определению расчетных значений показателей грунтов, необходимо в обязательном порядке знать средние (нормативные) значения показателей и их среднее квадратичные отклонения. В соответствии с нормами принимается, что плотность распределения прочностных и деформационных показателей грунтов соответствует нормальному закону.

Для определения вероятности устойчивости откосов грунтовых ГТС необходимо выполнить N-ое количество расчетов с

разными показателями прочности грунтов, достаточное для установления закона плотности распределения коэффициентов запаса устойчивости откоса. При назначении показателей прочности рекомендуется исходить из того, что для одного и того же грунта более высоким значениям плотности (γ) должны соответствовать более высокие значения тангенса угла внутреннего трения ($tg\phi$) и сцепления (C) и наоборот. Поскольку закон распределения плотности для показателей грунтов один и тот же, то значения γ , $tg\phi$ и C следует принимать соответствующими одному значению показателя функции Лапласа (t), используя кривые плотности нормального закона. Пример назначения показателей прочности грунта дан в таблице 4-8.

Таблица 4-8

Нормативные значения	C_v	Показатели прочности грунта при показателе функции Лапласа (t)											
		-1.6	-1.2	-0.8	-0.4	0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.4	
γ	1.523	0.077	1.34	1.38	1.43	1.47	1.52	1.57	1.62	1.66	1.71	1.76	1.80
$tg\phi$	0.225	0.425	0.07	0.11	0.15	0.19	0.23	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42	0.45
C	0.468	0.217	0.31	0.35	0.39	0.43	0.47	0.51	0.55	0.59	0.63	0.67	0.71

Показатели прочности грунта в таблице вычислены по формуле $A = A_{нор}(1 + C_v * t)$

Показатели прочности грунта в рядом стоящих столбцах таблицы отличаются, друг от друга на сотые доли, поэтому принимать более частые значения (t) для увеличения числа расчетов не имеет смысла. Значения коэффициентов запаса устойчивости откоса будут близкими по величине. Наименьшие значения показателей (γ , $tg\phi$ и C) обеспечивают получение наименьшего по величине коэффициента запаса устойчивости откоса, который

может быть меньше единицы из-за низких значений показателей ($K_3 \geq 0$). Наибольшие значения этих показателей не должны выходить за пределы реально возможных и приводить к получению чрезмерно высоких величин коэффициентов запаса (достаточно иметь $K_3 \leq 10-15$). Таким образом, для оценки величины вероятности, устойчивости откоса принимаем ряд значений с $0 \leq K_3 \leq 10-15$ (в соответствии с таблицей 4-8 $n=11$), без разбивки на дополнительные интервалы. Это приводит к необходимости при вычислении теоретических ординат кривой плотности учитывать фактические расстояния (шаги) между значениями K_3 (см. таблицу 4-9 графу 11).

Частоту значений K_3 принимаем с учетом интервалов, принятых в таблице 4-8. Она равна части площади кривой плотности распределения нормального закона, полученной умножением ординаты кривой на ширину интервала в долях от (t) и дополнительно на 100 (площадь кривой равна 1, умножая ее на 100, условно принимаем, что общее количество определений K_3 должно приближаться к 100). Результаты вычисления эмпирических и теоретических ординат частот кривой плотности распределения показано в таблице 4-9. Предварительной проверкой было установлено, что эмпирическая и теоретическая кривые плотности имеют лучшую сходимость при использовании нормального закона распределения, который далее используется для определения вероятности потери устойчивости откоса. Вероятность обрушения откоса с $K_3 \leq 1$ равна $P = 0.05456$.

- Определение вероятности потери фильтрационной прочности грунтов основания и несущей способности бетонных сооружений.

Условия работы бетонных сооружений отличаются от грунтовых: фильтрация в основании происходит в напорном режиме, на сооружение оказывают воздействия гидродинамическое, фильтрационное и взвешивающее давление воды, несущая способность зависит от прочности конструкции и устойчивости на сдвиг. Поэтому определение вероятности наступления тех или иных событий имеет некоторые отличительные особенности.

Определение вероятности устойчивости откоса грунтовой плотины
(плотность распределения по нормальному закону)

Таблица 4-9

№ п/п	K ₃ x	частота-м	x ₁	mx ₁	mx ₁ ²	mx ₁ ³	mx ₁ ⁴	t	φ(t)	$\frac{a\Sigma m}{S}$	m ₁	Σm ₁	Σm	13-14
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.6	4.43	-4.9	-21.707	106.364	-521.185	2553.81	-1.7764	0.08236	33.494	2.795	2.795	4.43	-1.635
2	1.4	7.77	-4.1	-31.857	130.614	-535.516	2195.62	-1.4279	0.14394	41.867	6.026	8.821	12.20	-3.379
3	2.4	11.60	-3.1	-35.960	111.476	-345.576	1071.28	-0.9923	0.24384	46.054	11.230	20.051	23.80	-3.749
4	3.5	14.70	-2.0	-29.400	58.800	-117.600	235.20	-0.5131	0.34973	37.681	13.087	33.138	38.50	-5.362
5	4.4	16.00	-1.1	-17.600	19.360	-21.296	23.43	-0.1211	0.39603	50.241	19.897	53.035	54.5	-1.465
6	5.6	14.70	0.1	1.470	0.147	0.015	0.002	0.4017	0.36802	46.054	16.949	69.984	69.20	0.784
7	6.7	11.60	1.2	13.920	16.704	20.045	24.054	0.8808	0.27066	33.494	9.066	79.050	80.80	-1.75
8	7.5	7.77	2.0	15.540	31.080	62.160	124.32	1.2293	0.18739	46.054	8.630	87.680	88.57	-0.89
9	8.6	4.43	3.1	13.733	42.572	131.974	409.12	1.7085	0.09270	29.307	2.717	90.397	93.00	-2.603
10	9.3	2.20	3.8	8.360	31.768	120.718	458.73	2.0134	0.05256	50.241	2.641	93.038	95.2	-2.162
11	10.5	0.90	5.0	4.500	22.500	112.500	562.50	2.5361	0.01600	46.054	0.737	93.775	96.10	-2.325
	60.5	96.1		-79.001	571.385	-1093.76	7658.06				93.775			
				-0.8221	5.946	-11.382	79.688							

$$X_{cp}=4.67793 \quad \text{Критерий Колмогорова } \lambda = \frac{-5.362^2}{96.1} = 0.547 \quad P_{(\lambda)} = 0.9464$$

$$S = 2.29563 \quad t_p = \frac{x - \bar{x}}{S} = \frac{1 - 4.67793}{2.29563} = -1.60214 \quad \text{вероятность события по нормальному закону } P = 0.05456$$

$$A = -0.9408$$

$$E = -0/1306$$

Для оценки фильтрационной прочности грунтов основания разрабатывается модель напорной фильтрации. Для каждого участка основания, заключенного между линиями равных напоров и линиями тока фильтрационного потока определяется градиент напора, его допустимое значение и коэффициент запаса. Далее оценка вероятности потери фильтрационной прочности грунтов в основании выполняется аналогично случаям, рассмотренным выше.

Для оценки вероятности потери прочности конструкции разрабатывается модель напряженно-деформированного состояния сооружения, которая учитывает воздействие всех внешних и внутренних нагрузок, с предусмотренными нормами коэффициентами условия работы. Учитывается изменчивость только прочностных и деформационных свойств бетона, из которого возведено сооружение. По аналогии с подходом назначения расчетных прочностных показателей грунтов, рассмотренным в таблице 4-8, определяется изменчивость модуля деформации бетона сооружения. Выполняются несколько вариантов расчета распределения напряжений в сооружении. Назначаются расчетные сечения. Для точек, расположенных выше и ниже сечения, определяется «резерв прочности бетона» (см. уравнение 2, пункт 1.4). Для данных «резерва прочности бетона» в точках сечения всех вариантов расчета устанавливается закон плотности распределения и для значения $S=R-\sigma=0$ определяется величина вероятности потери прочности конструкции.

При определении устойчивости бетонных сооружений на сдвиг вычисляется коэффициент запаса. Задаваясь различными показателями прочности грунтов основания, используя те же подходы, что и при оценке устойчивости грунтовых плотин, аналогичным методом определяется вероятность потери сооружением прочности на сдвиг.

Приложение 5. Определение свойств грунтов по данным геофизических испытаний.

Приближенные количественные связи между некоторыми инженерно-геологическими и гидрогеологическими параметрами пород и их удельным электрическим сопротивлением.

Таблица 5-1

литология	средний размер частиц d_{50} мм	глинистость %	число пластичности J_p	коэффициент пористости K_n %	коэф-нт активной пористости K_a %	коэф-нт фильтрации м/сут	удельное электрическое сопротивление Ом-м при минерализации воды г/л		
							0.1	1	5
глины	легкие	$n 10^{-3}$	≥ 40	17	20	0.001	10	1.0	1.0
	средн.	$n 10^{-4}$	≥ 50	20	40				
	тяжел.	$n 10^{-5}$	≥ 65	25	60				
суглин	легкие	0.01-0.02	≥ 15	7-10	25	10	0.01	100	10.0
	средн.	0.01-0.005	≥ 20	10-13	45				
	тяжел.	0.002-0.005	≥ 30	13-17	55				
супеси	легкие	0.1-0.2	10-12	1	30	20	0.01	1000	100.0
	средн.	0.05-0.1	12-15	4	40				
	тяжел.	0.02-0.05	15-20	7	50				
пески	крупно	1.0-2.0	0	0	30	30	0.1	10.000	1000
	средн.	0.5-1.0	5	0	40				
	мелко	0.2-0.5	10	0	50				
галечники	3.0-10	0	0	30	40	10	10.000	1000	10.0
валуны	20-80	0	0	30		100			

Удельное электрическое сопротивление (ρ) горных пород,
Ом-м

Таблица 5-2

порода		Измерения на образцах с гигроскопической влажностью	Измерения с помощью ВЭЗ и каротажа в породах		
			Насыщенных пресными и слабосолеными (до 3 г/л) водами	Насыщенных солеными (более 3 г/л) водами	С вкраплениями рудных минералов и углестого вещества
Глина		$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10$ - $1 \cdot 10^2$	1-10	
Аргиллит		$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10$ - $2 \cdot 10^2$	1-20	
Сланец глинистый		$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10$ - $5 \cdot 10^2$	1-50	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
Алевролит		$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10$ - $2 \cdot 10^2$	$5 \cdot 1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
Песчанник	пористый	$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10$ - $2 \cdot 10^2$	1-10	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
	плотный	$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
Конгломерат		$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$5 \cdot 1 \cdot 10^2$	
Мергель		$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$10 \cdot 1 \cdot 10^2$	
известняк	трещиноват	$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$50 \cdot 1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
	плотный	$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
Доломит		$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	$1 \cdot 1 \cdot 10^2$
Ангидрит		$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$	
Гипс		$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$ - $1 \cdot 10^6$	
гранит, гранодиорит		$1 \cdot 10^6$ - $8 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^3$ - $2 \cdot 10^4$		$10 \cdot 5 \cdot 10^3$
Сиенит, диорит, габбро					$50 \cdot 5 \cdot 10^3$
Перидотит, пироксен.					$10 \cdot 1 \cdot 10^3$

Порфир кварцевый	$5 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^4$		50 - $1 \cdot 10^3$
Порфирит	$5 \cdot 10^4$ - $5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$ - $5 \cdot 10^4$		
Диабаз	$5 \cdot 10^5$ - $5 \cdot 10^6$			
Липарит		$1 \cdot 10$ - $1 \cdot 10^3$		
Андезит	$5 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$			$1 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$
Базальт	$5 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^2$ - $1 \cdot 10^3$		
Сланец кристаллическ.	$1 \cdot 10^3$ - $1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$ - $4 \cdot 10^5$		5 - $1 \cdot 10^3$
Филлит	$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$			10 - 50
Гнейс	$1 \cdot 10^4$ - $1 \cdot 10^5$			10 - 50
Амфиболит	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^3$ - $5 \cdot 10^3$		
Мрамор	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$			
Кварцит	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$			50 - $1 \cdot 10^3$
Роговик	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$			50 - $1 \cdot 10^3$
Скарн	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^7$			50 - $1 \cdot 10^3$

Значения плотности (ρ) и скорости распространения продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн в грунтах, горных породах и минералах.

Порода, минерал	ρ , т/м ³	V_p , км/с	V_s , км/с	V_p/V_s	n , %
1	2	3	4	5	6
Вода	1.0	1.45			
Нефть	0.9	1.30			
Газ	$1 \cdot 10^{-3}$ - $2 \cdot 10^{-3}$	1.28			
Лед	0.9	3.70	1.70	0.46	

Магматические породы.					
Гранит биотитовый	2.62	5.60	3.20	0.57	
Гранит лейкократов.	2.61	5.35	2.85	0.53	
Гранит-гнейс	2.65	5.65	2.80	0.50	
гранодиорит	2.67	5.95	3.35	0.56	
Кварцевый диорит	2.70	6.10			
Диорит, гнейсо-диор.	2.80	6.20	3.55	0.57	
Габбро	2.94	6.40	3.65	0.57	
Диабаз	3.02	6.40	3.65	0.57	
Гипербазит	3.31	8.20	4.60	0.43	
Гипербазит амфибол.	3.20	7.45	4.15	0.56	
Серпентинит	2.60	5.30			
Талькит	2.90	5.30			
Йолиит-лейкократов.	2.80	6.05	3.45	0.57	
Йолиит-меланократов.	3.03	6.65			
Йолиит-уриг	2.91	6.25			
Липарит	2.35	5.00	3.00	0.60	
Андезито-базальт	2.71	5.05	2.90	0.57	
Базальт	2.81	5.50	2.95	0.54	
Обсидиан	2.33	5.80	3.45	0.59	
Сиенит, нефелиновый	2.66	6.15	3.25	0.53	
Анортозит	2.73	6.0			
Габбро-норит	3.07	7.25	4.10	0.57	
Метаморфические породы.					
Гнейс амфиболовый	2.80	5.85	3.30	0.56	1.3
-полевошпатовый	2.97	6.20	3.60	0.58	1.20
амфиболит	3.09	6.80	4.20	0.61	0.80
Гориблендит	3.16	6.40			
Кальцит	2.67	5.85	3.50	0.60	
Гранулит плагиоклазов	2.83	5.80	3.10	0.53	0.4
-гиперстеновый	2.81	6.20	3.50	0.56	1.0
-основного состава	3.02	7.00	4.30	0.61	0.6
Осадочные породы					
Алевролит	2.40	2.40	1.32	0.5-0.6	
Ангидрит	2.55	3.80	2.0	0.5-0.6	
Аргилит	2.35	2.70	1.50	0.5-0.6	
Брекчия	2.30	3.50	1.90	0.5-0.6	

Глина	1.80	1.60	0.9	0.07-0.06	
Гравелит	2.00	3.60	2.0	0.5-0.6	
Гипс	2.45	3.10	1.80	0.5-0.6	
Доломит	2.70	4.00	2.20	0.5-0.6	
Известняк	2.65	3.80	2.10	0.5-0.6	
Лёсс		0.45	0.21	0.5-0.6	
Мергель	2.30	2.90	1.40	0.4-0.5	
Мел	2.69	3.00	1.40	0.4-0.5	
Песок	1.60	0.9	0.20	0.1-0.3	
Песчаник	2.55	2.60	1.30	0.4-0.6	
Суглинок		1.30	1.00	0.5-0.6	
Конгломерат	2.55	3.60	2.00	0.5-0.6	
Грунты неводонасыщенные					
Почвенный слой	1.1	0.1-0.3	0.05-0.2	0.5-0.7	
Песок	1.3	0.2-0.7	0.1-0.4	0.5-0.7	
Супесь	1.65	0.25-0.6	0.1-0.3	0.45-0.60	
Суглинок	1.70	0.3-0.7	0.15-0.35	0.30-0.55	
Лёсс		0.4-0.7	0.2-0.4	0.45-0.60	
глина	1.80	0.40-1.80	0.1-0.7	0.10-0.35	
Галечник	1.90	0.4-0.8	0.25-0.50	0.65-0.70	
Песчаник	2.15	0.80-4.0	0.5-2.5	0.5-0.7	
Грунты водонасыщенные					
Песок		1.5-2.0	0.15-0.3	0.07-0.2	
Супесь		1.45-1.80	0.12-0.28	0.07-0.15	
Суглинок		1.50-1.90	0.10-0.25	0.05-0.15	
Глина		1.80-2.50	0.10-0.40	0.05-0.12	
Галечник		2.0-2.70	0.25-0.50	0.10-0.20	
Песчаник		1.80-4.50	0.50-2.50	0.40-0.60	
Известняк	2.65	2.0-5.0	0.5-2.80	0.35-0.55	
Гранит	2.65	2.50-5.5	0.8-3.60	0.40-0.60	
Грунты водонасыщенные при t= - 3 ⁰ C					
Галечник		3.80-4.50	2.0-2.60	0.50-0.60	
Песок		3.40-4.0	1.80-2.20	0.50-0.60	
Супесь		2.80-3.60	1.50-1.90	0.45-0.60	
Суглинок		2.20-2.80	1.20-2.50	0.40-0.55	
Глина		1.90-2.30			
Песчаник		3.60-5.00	1.90-2.80	0.50-0.60	
Известняк		3.80-5.50	2.0-3.0	0.50-0.60	
Гранит		4.0-4.60	2.20-2.30	0.50-0.60	

Порядок расчета параметров физико-механических свойств грунтов по данным сейсмоакустических исследований (по Бондареву В.И).

Используемые условные обозначения:

V_p и V_s - продольная и поперечная скорости сейсмических волн в грунте, м/с

$E_{ю}$ и G - модуль Юнга и модуль сдвига грунта, МПа

ν - коэффициент Пуассона

ρ_s ρ_c ρ_d $\rho_{об}$ - плотность минеральной части грунта, плотность грунта естественной влажности, его скелета, объемная плотность, т/м³

n и e - пористость и коэффициент пористости грунта

q - степень водонасыщения

W - весовая влажность грунта

C и ϕ - сцепление (МПа) и угол внутреннего трения (градусы) грунта

E - модуль деформации грунта, МПа

ρ_w - плотность воды, т/м³

Модуль Юнга ($E_{ю}$) и сдвига (G) вычисляются по величинам скоростей V_p и V_s :

$$E_{ю} = V_p^2 * \rho_c \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} = 2V_s^2 * \rho_c \quad (1)$$

$$G = \frac{E_{ю}}{2(1 + \nu)} \quad (2)$$

Значения W , ρ_s ρ_d и ρ_c взаимосвязаны:

$$W = \frac{e \cdot \rho_c}{\rho_s} \quad (3)$$

$$\rho_d = \rho_s(1-n) \quad (4)$$

$$\rho_{об} = \rho_s(1-n) + W * \rho_w \quad (5)$$

$$q = \frac{W \cdot \rho_s}{e \cdot \rho_c} \quad (6)$$

Расчет параметров физико-механических свойств песчаных грунтов.

1. Для грунтов выше уровня грунтовых вод (УГВ) то есть при $W=W_c$

$$E = (0.08539 * E_{ю} + 3)$$

$$E = (0.01425 * V_p + 0.1985 V_s - 27) \quad (7)$$

$$\varphi = (5.64 * 10^{-2} G + 29.0)$$

$$\varphi = (4.98 * 10^{-2} V_s + 23.3) \quad (8)$$

$$e = \left(\frac{37.5}{E_{ю}} + 0.364 \right) \quad (9)$$

$$n = \left(\frac{15.58}{E_{ю}} + 0.198 \right) \quad (10)$$

2. Для грунтов ниже УГВ:

$$E = (0.0445 * E_{ю} + 3.1)$$

$$E = (0.1517 * V_s - 18.9)$$

$$E = (2.261 * 10^{-4} V_s^2 + 4.2) \quad (11)$$

$$\varphi = (0.378 * 10^{-4} G^2 + 28.6)$$

$$\varphi = (8.468 * 10^{-5} V_s^3 + 27.8) \quad (12)$$

3. Объемная масса песчаных грунтов любой влажности определяется по формулам:

$$\rho_{об} = (1.013 V^{1/8} - 0.39)$$

$$\rho_{об} = (0.322 * 10^{-3} V_p + 1.66) \quad (13)$$

Объемная масса скелета:

$$\rho_d = (0.1115 * 10^{-2} V_s + 1.41) \quad (14)$$

$$W = \frac{\rho_g}{\rho_s} e \quad (15)$$

Расчет параметров физико-механических свойств глинистых грунтов

Определение модуля деформации:

$$E = (av^2 + bv + c)E^2 + (dv^2 + fv + m)E + (pv^2 + tv + s) \quad (16)$$

где a, b, c, f, m, p, t и s- коэффициенты, приведенные в таблице 5-3

Сцепление и угол внутреннего трения элювиальных глинистых грунтов можно вычислить по формуле (17) с определением коэффициентов по таблицам 5-4 и 5-5

$$c, \varphi \} = (av^2 + bv + c)G^2 + (dv^2 + fv + m)G + (p\mu^2 + t\mu + s) \quad (17)$$

таблица 5-3

коэф фиц	Коэффициент Пуассона				
	0.00-0.20	0.20-0.30	0.30-0.40	0.40-0.45	0.45-0.475
Элювиальные грунты					
a	-0.1691 E-3	0	0	0	0
b	0.5715 E-5	-0.1287 E-3	-0.6190 E-3	-0.4364 E-2	-0.3233 E-1
c	-0.2227 E-4	-0.0018 E-3	0.1453 E-3	0.1643 E-2	0.1423 E-1
d	0.1222 E+0	0	0	0	0
f	-0.3809 E-2	0.8744 E+0	0.2963 E+0	0.6621 E+1	0.4947 E+1
m	0.3719 E-1	0.2384 E-1	-0.3880 E-1	-0.2568 E+1	-0.2085 E+1
p	0.8149 E-9	0	0	0	0
t	0.5239 E-3	-0.1000 E-1	0.1000 E-1	-0.2000 E-1	0
s	0.1147 E+2	0.1148 E+2	0.1147 E+2	0.1146 E+2	0.1148 E+2
Делювиальные грунты					
a	-0.1584 E-3	0	0	0	0
b	0.5621 E-5	-0.1265 E-3	-0.6086 E-3	-0.4290 E-2	-0.3178 E-1
c	-0.2190 E-4	-0.0017 E-3	0.1429 E-3	0.1618 E-2	0.1399 E-1
d	0.1178 E+0	0	0	0	0
f	-0.3675 E-2	0.8423 E-1	0.2854 E+0	0.1182 E+1	0.4766 E+1
m	0.3583 E-1	0.2296 E-1	-0.0374 E+0	-0.3962 E+0	-0.2001 E+2
p	-0.8615 E-2	0	0	0	0
t	0.2270 E-2	0	0	0	0
s	0.1380 E+2	0.1380 E+2	0.1380 E+2	0.1380 E+2	0.1380 E+2
Аллювиальные грунты					
a	-0.9127 E-3	0	0	0	0
b	0.3280 E-5	-0.7384 E-4	-0.3552 E-3	-0.2504 E-2	-0.1854 E-1
c	-0.1278 E-4	-0.0101 E-4	0.0834 E-3	0.0943 E-2	0.0816 E-1
d	0.1206 E+0	0	0	0	0
f	-0.3756 E-2	0.8629 E-1	0.2923 E+0	0.1211 E+1	0.4880 E+1
m	0.3670 E-1	0.2351 E-1	-0.3830 E-1	-0.4059 E+0	0.2057 E+1
p	0.1531 E-2	0	0	0	0
t	0.1164 E-3	-0.2000 E-2	0.3000 E-2	0.6000 E-2	0.1600 E-1
s	0.3255 E+1	0.3255 E+1	0.3254 E+1	0.3258 E+1	0.3248 E+1

Коэффициенты к формуле (17) для определения сцепления.

Таблица 5-4

W _p , %	коэф- фи- циен- ты	Коэффициент Пуассона			
		0.0-0.30	0.30-0.40	0.40-0.45	0.45-0.475
15.5-18.4	a	-0.6782 E-5	0	0	0
	b	0.2574 E-6	-0.1573 E-4	-0.1125 E-3	-0.8495 E-3
	c	-0.2724 E-6	0.3908 E-5	0.4263 E-4	0.3742 E-3
	d	0.1643 E-2	0	0	0
	f	0.5984 E-4	0.2811 E-2	0.1123 E-1	0.4497 E-1
	m	0.2263 E-3	-0.4499 E-3	-0.3821 E-2	-0.1900 E-0
	p	-0.3651 E-3	0	0	0
	t	0.1156 E-3	0.1080 E-3	-0.3600 E-3	0.1720 E-3
	s	0.4498 E-2	0.4471 E-2	0.4637 E-2	0.4422 E-2
18.5-22.4	a	-0.9857 E-5	0	0	0
	b	0.3685 E-6	-0.2294 E-4	-0.1639 E-3	-0.1236 E-2
	c	-0.3965 E-6	0.5700 E-5	0.6211 E-4	0.5448 E-3
	d	0.2291 E-2	0	0	0
	f	0.8351 E-4	0.3920 E-2	0.1566 E-1	0.6274 E-1
	m	0.3156 E-3	0.6274 E-3	0.5326 E-2	-0.2651 E-1
	p	-0.3119 E-3	0	0	0
	t	0.8613 E-4	0.3000 E-5	0.2460 E-3	-0.3480 E-3
	s	0.6242 E-2	0.6240 E-2	0.6142 E-2	0.6410 E-2
22.5-26.4	a	0.1037 E-5	0	0	0
	b	-0.3836 E-7	0.2402 E-5	0.1746 E-4	0.1295 E-3
	c	0.4172 E-7	-0.5959 E-6	-0.6619 E-5	-0.5706 E+0
	d	0.1219 E-2	0	0	0
	f	0.4475 E-4	0.2089 E-2	0.8346 E-2	0.3344 E-1
	m	0.1684 E-3	-0.3345 E-3	-0.2837 E-2	-0.1413 E-1
	p	-0.5984 E-4	0	0	0
	t	0.2202 E-4	0.3000 E-3	0	-0.1600 E-3
	s	0.2985 E-1	0.2985 E+0	0.2986 E-1	0.2993 E-1
26.5-30.4	a	-0.7325 E-6	0	0	0
	b	0.2225 E-7	-0.1774 E-3	0.1260 E-4	-0.9531 E-4
	c	-0.3018 E-7	0.4419 E-4	0.4775 E-5	0.4199 E-4
	d	0.1816 E-2	0	0	0
	f	0.6814 E-4	0.3119 E-2	0.1247 E-1	0.4991 E-1
	m	0.2509 E-3	-0.4993 E-3	-0.4240 E-2	-0.2109 E-1
	p	0.1311 E-3	0	0	0
	t	-0.3213 E-4	-0.4000 E-4	-0.4000 E-4	-0.8000 E-4
	s	0.3315 E-1	0.3316 E-1	0.3313 E-1	0.3318 E-1
30.5-34.4	a	0.1639 E-4	0	0	0
	b	-0.6078 E-6	0.3790 E-4	0.2705 E-3	0.2040 E-2
	c	0.6540 E-6	-0.9416 E-5	-0.1025 E-3	-0.8987 E-3

	d	0.1767 E-2	0	0	0
	f	0.6577 E-4	0.3035 E-2	0.1216 E-1	0.4859 E-1
	m	0.2445 E-3	-0.4856 E-3	-0.4137 E-2	-0.2053 E-1
	p	0.1434 E-3	0	0	0
	t	-0.1595 E-4	-0.2000 E-4	-0.2000 E-3	0.4000 E-4
	s	0.4047 E-1	0.4048 E-1	0.4055 E-1	0.4044 E-1
34.5-38.4	a	-0.8684 E-4	0	0	0
	b	0.3232 E-5	-0.2026 E-3	-0.1448 E-2	-0.1091 E-1
	c	-0.3499 E-5	0.5037 E-4	0.5487 E-3	0.4809 E-2
	d	0.5943 E-2	0	0	0
	f	0.2223 E-3	0.1022 E-1	0.4080 E-1	0.1633 E+0
	m	0.8215 E-3	-0.1639 E-2	-0.1387 E-1	-0.6902 E-1
	p	0.3627 E-3	0	0	0
	t	-0.4144 E-4	-0.2600 E-3	0.2000 E-4	0.1600 E-3
	s	0.3644 E-1	0.3654 E-1	0.3643 E-1	0.3637 E-1

Коэффициенты к формуле (17) для определения угла внутреннего трения.

Таблица 5-5

W _p , %	Коэффициенты	Коэффициент Пуассона			
		0.0-0.30	0.30-0.40	0.40-0.45	0.45-0.475
15.5-18.4	a	-0.8622 E-3	0	0	0
	b	0.3301 E-4	-0.1969 E-2	-0.1404 E-1	-0.1059 E+0
	c	-0.3404 E-4	0.4891 E-3	0.5317 E-2	0.4666 E-1
	d	0.2047 E+0	0	0	0
	f	0.7708 E-2	0.3517 E+0	0.1403 E+1	0.5625 E+1
	m	0.2829 E-2	-0.5632 E-1	-0.4771 E+0	-0.2377 E+1
	p	-0.2068 E+0	0	0	0
	t	0.8810 E-1	-0.3000 E-1	0.4000 E-1	-0.4000 E-1
	s	0.1880 E+2	0.1882 E+2	0.1879 E+2	0.1883 E+2
18.5-22.4	a	-0.1147 E-2	0	0	0
	b	0.4283 E-4	-0.2672 E-2	-0.1911 E-1	-0.1439 E-1
	c	-0.4619 E-4	0.6639 E-2	0.7239 E-2	0.6343 E-1
	d	0.2421 E+0	0	0	0
	f	0.8882 E-2	0.4146 E+0	0.1656 E+1	0.6634 E+1
	m	0.3336 E-1	-0.6635 E+1	-0.5632 E+0	-0.2803 E+1
	p	-0.3008 E-1	0	0	0
	t	0.8009 E-2		0.4000 E-1	-0.4000 E-1
	s	0.1730 E+2	0.1729 E+2	0.1729 E+2	0.1733 E+2
22.5-26.4	a	-0.7720 E-3	0	0	0
	b	0.2867 E-4	-0.1799 E-2	-0.1286 E-1	-0.9699 E-1
	c	-0.3109 E-4	0.4471 E-3	0.4873 E-3	0.4273 E-1
	d	0.1995 E+0	0	0	0
	f	0.7361 E-2	0.3419 E+0	0.1367 E+1	0.5477 E+1
	m	0.2752 E-1	-0.5474 E-1	-0.4647 E+0	-0.2312 E+1

	p	-0.3818 E-2	0	0	0
	t	0.1536 E-2	0	0	0
	s	0.1682 E+2	0.1682 E+2	0.1682 E+2	0.1682 E+20
26.5-30.4	a	-0.7889 E-3	0	0	0
	b	0.1728 E-4	-0.1121 E-2	-0.8025 E-2	-0.6041 E-1
	c	-0.1936 E-4	0.2787 E-3	0.0304 E-1	0.2664 E-1
	d	0.1806 E+0	0	0	0
	f	0.6766 E-2	0.3101 E+0	0.1240 E+1	0.4960 E+1
	m	0.2495 E-1	-0.4964 E-1	-0.4215 E+0	-0.2096 E+1
	p	0.1397 E-1	0	0	0
	t	-0.3073 E-2	-0.1000 E-1	0	0
	s	0.1593 E+2	0.1594 E+2	0.1593 E+2	0.1593 E+2
30.5-34.4	a	0.6392 E-3	0	0	0
	b	0.2570 E-4	-0.1469 E-2	0.1045 E-1	0.7915 E-1
	c	0.2549 E-4	-0.3647 E-3	-0.3958 E-2	-0.3481 E-1
	d	0.1245 E+0	0	0	0
	f	0.5086 E-2	0.2154 E+0	0.8638 E+0	0.3448 E+1
	m	0.1732 E-1	-0.3445 E-1	-0.2938 E+0	-0.1457 E+1
	p	0.5821 E-1	0	0	0
	t	-0.2193 E-1	0	-0.4000 E-1	0.4000 E-1
	s	0.1522 E+2	0.1521 E+2	0.1523 E+2	0.1519 E+2
34.5-38.4	a	-0.3843 E-2	0	0	0
	b	0.1458 E-3	-0.8953 E-2	-0.6372 E-1	-0.4805 E+0
	c	-0.1543 E-3	0.2225 E-2	0.2413 E-1	0.2117 E+0
	d	0.2984 E+0	0	0	0
	f	0.1129 E-1	0.5152 E+0	0.2054 E+1	0.8224 E+1
	m	0.4136 E-1	-0.8269 E-1	-0.6980 E+0	-0.3475 E+1
	p	-0.8941 E-2	0	0	0
	t	0.1015 E-1	0.1000 E-1	-0.6000 E-1	-0.4000 E-1
	s	0.1347 E+2	0.1346 E+2	0.1349 E+2	0.1348 E+2

Для ориентировочных оценок физико-механических свойств глинистых грунтов Урала рекомендованы к использованию следующие зависимости:

$$E = (0.1076 E_{ю} - 1.9) \\ E = (0.154 V_s - 12.0) \quad (18)$$

для сцепления:

$$c = \left(\frac{0.1588}{\sqrt{V_p/V_s}} - 0.0605 \right) \quad (19)$$

для угла внутреннего трения:

$$\varphi = [45.6^0 - 7.95(V_p/V_s)] \quad (20)$$

Для глинистых грунтов западной окраины Западно-Сибирской платформы:

$$c = \left(\frac{0.191}{\sqrt{V_p/V_s}} - 0.0548 \right) \quad (21)$$

значения ϕ можно определять по формуле (20)

Для глинистых грунтов всего Уральского региона можно использовать формулы:

$$e = (1.146 - 1.764 \cdot 10^{-3} E_{ю}) \quad (22)$$

$$\gamma_{об} = (0.0208 \cdot \sqrt{V_p} + 1.46) \quad (23)$$

$$W = (38.0 - 0.0315 V_p) \quad (24)$$

$$J_p = (16.4 - 8.73 \cdot 10^{-3} V_p) \quad (25)$$

$$J_L = \left(\frac{56}{G} - 0.83 \right) \quad (26)$$

Приложение 6. Определение возможности разжижения грунтов тела и основания ГТС.

Водонасыщенные грунты оснований и тела ГТС, если они не пластичны, способны разжижаться под действием динамических нагрузок, возникающих при землетрясениях, взрывах, других формах вибрации и ударных нагрузках. Разжижению песков и илистых отложений способствуют возникающее при вибрации избыточное поровое давление и уменьшение эффективного напряжения, что ведет к снижению прочности на сдвиг, суффозии, грунтоотечению, потери несущей способности, просадкам грунтов или всплыванию подземных сооружений. Разжижение грунтов происходит при наличии следующих условий: высокая степень водонасыщения, определенный гранулометрический состав, действие динамических нагрузок и способность грунтов под воздействием вибрации увеличивать плотность.

- Водонасыщение - заполнение пор грунта водой должно достигать не менее 90 %.

- Гранулометрический состав грунта соответствует данным таблицы 6-1.

Таблица 6-1

грунты	Размер частиц грунта в мм			
	d ₁₀	d ₅₀	d ₇₅	d ₉₀
Связные	0.001/0.004	0.010/0.035	0.025/0.050	0.040/0.150
Пески потенциально подверженные	0.01/1.0	0.02/2.0	0.028/2.5	0.04/4.0
Пески наиболее подверженные	0.04/0.35	0.08/0.70	0.01/1.9	0.20/1.1

Примечание: в таблице дробно слева данные нижней границы, справа - верхней.

- Угроза разжижения водонасыщенных грунтов наступает при ускорениях 0.1g и более, а скорость прохождения поперечных сейсмических волн (V_s) не превышает 0.200-0.220 км/с. граница возможного наступления разжижения описывается уравнением (1), полученным по данным землетрясения в Imperial Valley, Калифорния [16].

$$A_1 = \frac{1}{5 - 21.1 * V_s} \quad (1)$$

где V_s - скорость поперечных волн в км/с, A_1 - ускорение в (см/с), при котором появляется потенциальная возможность разжижения (K_1).

$$A_2 = \frac{1}{9.2 - 41.4 * V_s} \quad (2)$$

ускорение, при котором проявление разжижения наиболее вероятно (K_2).

- Четвертым условием необходимым для возникновения разжижения является относительная плотность грунтов. Если возраст отложений насчитывает несколько десятков тысяч лет, то существует большая вероятность того, эти грунты уже подвергались высоким динамическим нагрузкам и при повторных воздействиях, имея достаточную плотность, они не будут разжижаться.

Чтобы определить: подвержены ли грунты разжижению, или нет, необходимо провести полевые исследования грунтов методом динамического зондирования в соответствии с требованиями [7].

Так как для анализа результатов исследование используется методика зарубежных специалистов, предложенная на семинаре NCEER в Солт Лейк Сити в 1996 г [16], разработанная с применением стандартного теста на проникновение SPT- BS -1377, необходимо вводить поправки, учитывающих разные технические показатели оборудования. Например, при динамическом зондировании (ГОСТ 19912-81):

вес молотка $P=70$ кг

высота падения $H=1$ м

площадь приложения нагрузки $F= 4.3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

длина наконечника $L = 200$ мм

энергия молотка $\mathcal{E}_M = P \cdot H \cdot g = 70 \cdot 1.0 \cdot 9.81 = 686.7$ Дж/удар

объем вытесняемого грунта (энергия)

$V = A \cdot L = 4.3 \cdot 10^{-3} \cdot 0.2 = 0.86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

сопротивление пенетрации

$(\mathcal{E}_M/V)_d = 686.7 / 0.86 \cdot 10^{-3} = 7.98 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^3$

При использовании стандартного теста SPT (BS 1377)

вес молотка $P= 63.5$ кг

высота падения $H= 0.762$ м

площадь приложения нагрузки $F = 2.04 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

длина наконечника $L = 300$ мм.

Энергия молотка

$\mathcal{E}_M = P \cdot H \cdot g = 63.5 \cdot 0.762 \cdot 9.81 = 474.7$ Дж/удар

Объем вытесняемого грунта (энергия)

$V = A \cdot L = 2.04 \cdot 10^{-3} \cdot 0.3 = 0.61 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$

Сопротивление пенетрации

$(\mathcal{E}_M/V)_{SPT} = 474.7 / 0.61 \cdot 10^{-3} = 7.91 \cdot 10^{-3}$.

Расчетное количество ударов с учетом поправок

$$N_I = N_d \cdot \frac{(\mathcal{E}_M / V)_{SPT}}{(\mathcal{E}_M / V)} \cdot C_N,$$

где N_d - измеренное количество ударов при динамическом зондировании,

C_N - коэффициент перегрузки, вычисляемый по уравнению $C_N=0.4+5/C^1_V$,
 C^1_V - действующее вертикальное напряжение в (кг/см²),
 Приведенное число ударов молотка вычисляется по уравнению

$$(N_1)_{60} = N_1 * \frac{\mathcal{E}_{ш}}{60},$$

где $\mathcal{E}_{ш}$ - измеренная энергия штанги.

Если $(N_1)_{60}$ равно 30 и более грунты достаточно плотные и не подвержены разжижению. При $0 \leq (N_1)_{60} \leq 30$, коэффициент циклического напряжения (CSR) не должен превышать

$$(CSR) \leq 0.0117(N_1)_{60}$$

Фактическая величина коэффициента циклического напряжения зависит от ускорения и магнитуды землетрясения, глубины расположения исследуемого грунта и вертикальных напряжений.

$$(CSR) = \frac{0.65 A_M * C_V * r_d}{(M^1) C^1_V * g}, \text{ где}$$

A_M - максимальное ускорение,

C_V - общее вертикальное напряжение,

C^1_V - действующее вертикальное напряжение,

r_d - коэффициент уменьшения глубины:

$$r_d = 1.0 - 0.00765h \quad \text{при} \quad h < 9.15$$

$$r_d = 1.174 - 0.026h \quad \text{при} \quad 9.15 < h < 23$$

$$r_d = 0.744 - 0.008h \quad \text{при} \quad 23 < h < 30$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{при} \quad h > 30$$

M^1 - приведенная величина магнитуды землетрясения для величин больше или меньше- 7.5

$M^1 = 173.8 / M^{2.56}$, где M - действующая магнитуда землетрясения.

g - ускорение свободного падения 9.81 м/с².

Разжижение грунта произойдет, если $(CSR) \geq 0.0117 (N_1)_{60}$ при $0 \leq (N_1)_{60} \leq 30$.

Приложение 7.

Требования к изысканиям минеральных строительных материалов.

7.1 Изыскания естественных минеральных материалов для строительства ГТС имеют целью обеспечение песком и гравием для приготовления бетона, устройства дренажей и фильтров, грунтами для возведения плотин и дамб, камнем для упорных призм насыпных плотин, отмостки откосов и креплений нижних бьефов водопропускных сооружений. Они включают в себя:

- поиск и изучение грунтов, расположенных в непосредственной близости от стройплощадки ГТС с оценкой их свойств и запасов для возможного использования в качестве строительных материалов.

- установление инженерно-геологических, гидрогеологических и технологических условий разработки грунтов (мощность полезной толщи и вскрыши, обводненность возможность применения взрывных работ, необходимость сортировки и обогащения).

Месторождения делятся на крупные с запасами > 1 млн. м³, средние 0.2-1.0 млн. м³ и мелкие < 0.2 млн. м³. Запасы материалов в зависимости от степени разведанности месторождения, изученности качеств грунтов и условий их разработки делятся на категории «А», «В» и «С₁», предварительные «С₂» и прогноз-ные «Р₁». Запасы оцениваются по наличию их в условиях естественного залегания, без учета потерь при добычи, транспортировки и обработки. Требуемые объемы для разведки по категории «А» рассчитываются с коэффициентом запаса 1.2 (для гидромеханизации 1.5-1.8), для категорий А+В+С₁ с коэффициентом- 1.8.

При разведки месторождений по категории- «А» должны быть установлены размеры, форма и условия залегания полезной толщи, изучены характер и закономерности ее внутреннего строения, при наличии разрывных нарушений, установлены положения и амплитуды смещения. Определены природные разновидности, выделены и оконтурены типы строительных материалов с характеристикой по всем показателям, предусмотренным в ведомости видов испытаний. Опробование месторожде-

ния выполнено в объеме, указанном в нижеследующих разделах.

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия изучены с детальностью, обеспечивающей получение исходных данных, необходимых для составления проекта разработки карьера. Месторождение покрыто топографической съемкой масштаба 1:2000 или 1:1000 (при уклонах поверхности более 4° с пересеченным горным рельефом местности). В сложных условиях для месторождения камня с применением буро-взрывных работ выполняется съемка масштаба 1:500. Должна быть выполнена плано-высотная привязка устьев выработок. Плотность разведочной сети: песка, галечника и глины 100-200 м до 25-75 м в зависимости от сложности инженерно-геологических условий. Скальные породы должны иметь плотность выработок 200-300 м до 25-75 м.

При разведки месторождения по категории «В» предъявляются аналогичные требования, что и по категории «А» но, при невозможности оконтуривания типов материалов должны быть установлены закономерности их пространственного распространения и количественного соотношения. Качество выделенных типов материалов должно быть охарактеризовано по всем показателям и их опробование произведено в объеме аналогично категории «А».

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия изучены с полнотой, позволяющей качественно и количественно охарактеризовать основные показатели строительных материалов. Топографический план месторождения выполняется в масштабе 1:5000 или 1:2000 для сложных условий. Плано-высотная привязка разведочных выработок.

Подсчет запасов в контуре карьера выполняется по разведочным выработкам с включением зон экстраполяции, обоснованными геологическими критериями и данными геофизических исследований. Разведочные выработки проходят по сетке с размерами для песка, гравия и глин 150-300 до 50-100 м в зависимости от сложности инженерно-геологических условий, для скальных пород 300-400 до 75-150 м.

При разведки месторождений по категории «С₁» предъяв-

ляются аналогичные требования, что и для категории «В». Должны быть определены природные разновидности и типы материалов, выявлены общие закономерности их пространственного распространения и количественного соотношения. Качество выделенных типов материалов охарактеризовано по всем показателям и опробование выполнено в объемах, аналогичных категориям «А» и «В».

План месторождения составлен в масштабе 1: 10.000 или 1: 5000 с планово-высотной привязкой устьев выработок. Контур запасов полезной толщи определен по выработкам с учетом данных геофизических исследований и геологически обоснованной экстраполяции. Плотность выработок для песков, гравия и глин 300-500 до 100-150 м, камня 400-600 до 75-150 м.

7.2 Разведка месторождений ведется методами:

- шурфованием при мощности полезной толщи до 10 м в необводненных грунтах.

- скважинами (для песков используются скважины ϕ 168 мм, гравийных грунтов ϕ 219 мм, для грунтов с включением гальки и валунов ϕ 325 мм). Скважины могут искажать гранулометрический состав грунтов.

- геофизические используются для определения глубины залегания, мощности и площади распространения полезной толщи. Электроразведка (ВЭЗ и ЭП) дает положительные результаты при достаточном различии удельных электрических сопротивлений полезного ископаемого и вмещающих пород. Когда разница удельных сопротивлений незначительная применяется сейсморазведка.

Карьеры камня разведываются скважинами с отбором керна. Выход керна менее 80 % (отношение образцов длиной 10 см и более к общей длине рейса) говорит о слабом камне, либо о низком качестве буровых работ.

Результаты разведки месторождений естественных минеральных материалов должны быть представлены следующей технической документацией:

- колонки горных выработок составленные применительно к классификации грунтов (ГОСТ 25100-82). На колонках горных

выработок указывается дата, способ проходки, состав грунтов, номера проб и интервалы опробования, положение УПВ, выход керна и результаты опытных работ.

- геологические разрезы, на которых отражаются состав грунтов (применительно к ГОСТ 25100-82), их состояние, интервалы опробования, УПВ, контур подсчета объемов, а так же влажность отдельных слоев и полезной толщи, пластичность и влажность на границе раскатывания для глинистых грунтов, процентное содержание гравия, валунов и других компонентов для песчано-гравийных грунтов. На разрезах месторождения камня должны быть показаны зоны не выветрелых, слабо и сильно выветрелых пород, зоны тектонических нарушений. Линии разрезов должны проходить через выработки, в том числе включенные в подсчет объемов работ.

- план расположения выработок (карта фактического материала). Карты мощности вскрыши. Для участков, сложенных грунтами, состав которых изменяется в горизонтальном и вертикальном направлениях, составляются карты-срезы. По обводненным карьерам составляются карты гидроизгипс.

- ведомость замеров УПВ в разведочных выработках с указанием наименования выработки, ее номера, даты замера и отметки УПВ. В ведомость также включаются сезонные отметки поверхности воды в ближайших водоемах, которые могут влиять на изменения УПВ карьера. Кроме того, в ведомость должны быть включены результаты опытных откачек и максимальные и минимальные значения коэффициента фильтрации.

- подсчет запасов строительных материалов одним из методов: среднего арифметического, геологических блоков, параллельных сечений, методом треугольников.

а) метод среднего арифметического используется для подсчета запасов по категории C_2 и C_1 . Определяется средняя мощность грунтов полезной толщи по выработкам, которые затем умножаются на площадь.

б) метод геологических блоков сводится к разделению полезной толщи на отдельные блоки. Для подсчета объемов блоков используются метод среднего арифметического или треугольников. Метод используется для подсчета запасов по кате-

гориям С₁, В и А.

в) метод параллельных сечений заключается в определении средней мощности полезной толщи по разрезу и установления средней площади для каждого сечения. Средняя площадь по двум параллельным сечениям умножается на среднее расстояние между сечениями. Метод используется для подсчета запасов по категориям С₁, В и А.

г) метод треугольников. Площадь карьера на плане разбивают на треугольники, вершинами которых служат устья горных выработок. Площадь треугольника умножают на среднюю мощность толщи (среднюю по трем опорным выработкам) получают объем грунта в пределах данной фигуры. Используется для подсчета запасов по категориям В и А.

Для исключения ошибок в подсчетах следует применять одновременно несколько методов подсчета.

7.3 Опробование месторождений.

Опробование месторождений (отбор и испытание образцов) состоит из следующих операций:

отбор начальных проб из разведочных выработок и естественных обнажений, обработка и доведение начальных проб или группы начальных проб до конечных проб массой, нужной для соответствующих испытаний. Первые две операции выполняются в процессе полевых работ, последняя - частично в поле, частично в стационарной лаборатории.

В зависимости от способа отбора пробы бывают штупные (точечные), бороздовые, валовые, а также нарушенной и ненарушенной структуры. Точечным называют опробование, при котором пробу отбирают с заданной глубины. Бывают поинтервальные, послойные, поинтервально-послойные и погоризонтальные опробования. При поинтервальном опробовании относительно однородную полезную толщу или выделенный в ней горизонт расчленяют на отдельные интервалы, каждый из которых опробуют отдельно. При послойном опробовании интервал опробования совпадает с мощностью каждого слоя полезной толщи. Поинтервально-послойное опробование заключается в том, что пробы отбирают из каждого слоя, а в пределах мощных

литологически однородных слоев пробы отбирают по заданным интервалам. При погоризонтальном опробовании пробы отбирают по всей высоте будущего карьера- горизонта отработки.

При опробовании грунтов необходимо придерживаться следующих правил:

- опробованию подлежат все пройденные выработки независимо от стадии разработки.

- при разведке должны быть опробованы все вскрытые выработками типы и виды грунтов по всей толще, включая прослой некондиционных грунтов и грунтов вскрыши.

- отдельно отбирают: прослой суглинков, песков в песчано-гравийной толще, если мощность суглинков > 0.2 м, а песков > 0.5 м, прослой или зоны слабых разновидностей > 1.0 м в массиве скальных пород, горизонты полезной толщи выше и ниже УПВ.

- все пробы по вещественному составу должны быть представительными, а их количество достаточным для качественной характеристики грунта слоя или горизонта разработки карьера.

- для каждого типа грунта слоя или горизонта свой представительный объем.

- сухая и обводненная части полезной толщи опробуются раздельно.

- масса или объем каждой пробы должны быть достаточными для выполнения всех необходимых видов лабораторных исследований по одной и той же пробе.

- оставшийся материал используется для изготовления проб-дубликатов, которые сохраняются до сдачи отчета по материалам.

- интервал опробования при достаточно однородном слое может достигать- 5 м. Из грунтов, характеризующейся частой изменчивостью литологического состава в пределах слоя, пробы можно отбирать с интервалами 2-3 м. В пределах полезной толщи каждого карьера следует соблюдать одинаковые интервалы опробования.

7.3.1 Методы опробование песков и крупнообломочных грунтов.

Общее количество проб, отбираемых для полного комплек-

са испытаний, зависят детальности разведки, степени однородности грунта и крупности месторождения. При значительной неоднородности грунта отбирается максимальное количество проб для полного комплекса испытаний. Общее максимальное количество проб не должно выходить за пределы, указанных в таблице 7-1, минимальное- в таблице 7-2.

Количество испытаний в % от общего объема определений.

Таблица 7-1

№ п/п	Наименование испытаний	Количество испытаний для категорий		
		А	В	С ₁
1	Полный комплекс испытаний	20-30	20-30	20-30
2	Полный гранулометрический анализ	40-60	40-60	30-40
3	Сокращенный гранулометрический анализ	20-40	20-40	30-50

Минимально количество проб для полного комплекса испытаний.

Таблица 7-2

№ п/п	месторождения	Количество испытаний для категорий запаса		
		А	В	С ₁
1	Мелкие	-	8	3
2	Средние	20	12	5
3	Крупные	25	15	7

Вес конечных проб для лабораторных испытаний песков и крупнообломочных грунтов.

Таблица 7-3

Назначение грунтов	Виды грунтов и лабораторных испытаний	Вес пробы в кг.
Заполнитель для бетона	Комплексные лабораторные испытания:	
	Песков (фракции <5 мм)	15-20
	Гравий –отсев (5-120 мм)	75-110

	Гравий по фракциям (5-10-15, 10-20-20, 20-40-30, 40-80- 40)	110
	Природная песчано-гравийная смесь	100
	Испытания в бетоне: песок гравий	100 300
	Исследования по подбору состава бетона	1000
	Определение плотности насыпного гравия по фракциям:	
	5-10	15
	10-20	30
	20-40	60
	40-80	150
Материал для земляных плотин.	Пески (полный комплекс)	5
	Гравелистые пески	30
	Гравийные и галечниковые грунты: (полный комплекс)	>70
	мелкозернистый заполнитель	2-5
	крупность частиц >100 мм	>500

В начальную пробу поступает весь материал, пройденного интервала шурфа, канавы, расчистки, «кратной бадьи», бороздовой пробы или целика. Метод «кратной бадьи» применяется при однородной песчаной или песчано-гравийной толщине с небольшим количеством (до 10%) валунов, не содержащих отдельных прослоев песка и гравия. При массе материала с 1 м проходки 1.1-1.5 т отбирается 2-5 проб «кратной бадьи».

Метод борозды (задиры) применяется в тех условиях, что и предыдущий метод, если в грунтах содержится небольшое количество гравия диаметром до 40 мм и стенки шурфа или других открытых выработок находятся в хорошем устойчивом состоянии. Ширина и глубина борозды зависят от наибольшей крупности грунта полезной толщи и должны ее превышать в 2 раза.

Метод целика применяют, когда при проходке открытых

выработок, в стенках оставляется целик в виде куба или призмы. Его размеры должны превышать не менее чем в 2-раза диаметр наиболее крупной фракции.

При отборе проб из буровых скважин грунт отбирается наконечником. Контрольный выход грунта должен составлять 80-100 %. Масса фактически поднятого грунта сравнивается с массой, подсчитанной по формуле: $m_{100} = 0.785 d^2 l \rho_0$, где

d - внутренний диаметр бурового снаряда, м

l - мощность интервала опробования, м

ρ_0 - плотность грунта, кг/м³.

Таблица 7-4

Σ гравия, гальки и валунов в %	< 20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	>70
ρ_0 в кг/м ³	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200

Конечная поинтервальная или послойная проба, масса которой обеспечивает проведение комплексных испытаний, находится по формуле. $q = \frac{Ql}{M}$, где

Q - общая масса пробы, определенной по таблице 7-5.

l - интервал отбора проб, в м. ($l < M$ в 2 раза и более).

M - мощность полезной толщи или выделенного горизонта.

Таблица 7-5

Комплекс испытаний	Масса пробы, кг при содержании фракции (5-120) в %				
	15	20	30	40	50
Полный комплекс без испытаний бетона	2000	1500	1000	700	500
Тоже, с испытанием бетона	3000	2300	1700	1200	900

При разведке несвязных грунтов для бетона отбираются точечные пробы для оценки содержания вредных примесей. Пробы массой 0.3-0.5 кг. отбирают через 0.5 м от кровли полезной толщи на глубину 2-2.5 м. Точечные пробы для определения влажности отбирают по глубине через 0.5-1.0 м. Отбор проб

производится в бьюксы.

При проходке шурфа или отсыпки грунта в сооружение, плотность грунта можно определять в полевых условиях. Для этого в дно шурфа или в уложенный слой грунта насыпи вдавливают металлическую рамку размером 50x50, 40x40 или 30x30 см. В пределах рамки вынимается грунт массой Q и объемом V. Дно и стенки лунки выстилают пленкой, из мерного сосуда наливают воду. Зная вес и объем, определяем плотность. $\rho = Q/V$.

Попутно отбираются образцы грунта для определения влажности.

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + \frac{P}{100} + \frac{W}{100}}, \text{ где}$$

ρ_d - плотность сухого грунта.

W- влажность фракций менее 5 мм.

P- % содержания в пробе фракций менее 5 мм.

Коэффициент фильтрации грунта K_f в полевых условиях определяется методом налива (по методу К. Болдырева).

7.3.2 Опробование глинистых грунтов.

Методика отбора и обработки начальных, конечных и других проб глинистых грунтов аналогична методики для несвязных грунтов. Из связных грунтов отбираются погоризонтальные, поинтервальные или послойные, послойно-интервальные и точечные пробы с нарушенным сложением, а также единичные пробы с ненарушенным сложением (монолиты). Масса конечной пробы на полный комплекс исследований определяется по формуле: $Q = kd^2$. где

Q- вес пробы, в кг.

d- диаметр наиболее крупных зерен пробы, в мм.

k- коэффициент однородности $k = d_{60}/d_{10}$.

Максимальное и минимальное количество проб принимается аналогично с отбором проб несвязных грунтов.

7.3.3 Опробование скальных грунтов.

Пробы камня отбираются из горных выработок и скважин колонкового бурения в виде штуфов или керна. Их отбирают из всех зон сохранности. В зонах прочных и слабо затронутых вы-

ветриванием пород при однородном составе грунтов пробы отбираются с интервалом 5 м, а при неоднородном составе пород с 2-3 м. Из зоны сильно выветрелых пород по 1-2 пробы из каждой выработки путем изъятия штофов размером 20x20x20 см, или 3 пробы 10x10x10 см. Для испытания отбираются керны длиной 80-120 см. Минимальное количество проб скальных пород для полного комплекса испытаний показано в таблице 7-6.

Таблица 7-6

Крупность месторождений.	Степень сохранности	Минимальное количество проб для категории запаса		
		А	В	С ₁
Мелкие	Не выветрелые	-	20	10
	Слабо выветрелые	-	7	5
	Сильно выветрелые	-	6	4
Средние	Не выветрелые	40	25	12
	Слабо выветрелые	10	8	6
	Сильно выветрелые	8	6	4
Крупные	Не выветрелые	45	30	15
	Слабо выветрелые	12	10	8
	Сильно выветрелые	10	8	6

Максимальное количество испытаний образцов скальных пород должно производиться по 20-30 % от общего числа для категорий запасов «А» и «В» и по 40-50 % для категории «С₁».

7.4 Систематизация и анализ данных исследований.

Для систематизации и анализа данных исследований должны быть выполнены полевые и лабораторные исследования грунтов и определены их физико-механические и другие свойства.

7.4.1 Физико-механические свойства грунтов.

Определения физико-механических характеристик грунтов и их расчетных значений выполняются в грунтовых и бетонных лабораториях в соответствии ГОСТ и специальными Пособиями.

Для разработки детальных проектов, кроме данных указанных выше, должны быть представлены:

- ведомости и графики гранулометрического состава грунтов, определение среднего взвешенного состава по горизонту разработки и месторождению в целом.
- графики зависимости коэффициента пористости грунтов от вертикальной нагрузки.
- результаты и графики компрессионных испытаний грунтов.
- результаты и графики сдвиговых испытаний грунтов.
- нормативные и расчетные значения параметров прочности грунтов
- показатели водно-физических свойств глинистых грунтов.
- результаты лабораторных исследований физико-механических свойств грунтов в объеме ведомости видов испытаний (табл. 7-7).

Ведомость видов испытаний минеральных
строительных материалов

Таблица 7-7

№ п/п	Показатели	условные обознач. фор-лы	един. измер	грунты и комплексы испытаний			
				песок	гравий	камень	глина
1	Полный гранулометрический состав		%	+	+	+	+
2	Минералогический и химичес. Состав			+	+	+	-
3	Петрографический состав пород			+	+	+	-
4	Содержание глинистых и пылеватых		%	+	+	-	-
5	Содержание органических примесей		%	+	+	+	+
6	Содержание водорастворимых солей		%	+	+	-	+
7	Содержание зерен слабых пород		%	+	+	+	-
8	Содержание зерен лещадных и других		%	-	+	+	-
9	Содержание соединений с SO ₃		%	+	+	+	-

10	Модуль крупности		-	+	+	-	-
11	Естественная влажность	W	%	+	+	+	+
12	Влажность на пределе текучести	W_L	%	-	-	-	+
13	Влажность на пределе раскатывания	W_P	%	-	-	-	+
14	Число пластичности	$J_P = W_L - W_P$	%	-	-	-	+
15	Показатель текучести	$J_L = (W - W_P) / J_P$	-	-	-	-	+
16	Максимальная молекулярная влагоем.	W_{max}	%	-	-	-	+
17	Оптимальная влажность	W_{opt}	%	+	-	-	+
18	Плотность частиц грунта (удельн. вес)	ρ_s	т/м ³	+	+	+	+
19	Плотность сухого грунта	ρ_d	т/м ³	+	+	+	+
20	Плотность грунта с учетом крупных вкл	ρ_{dp}	т/м ³	-	-	-	+
21	Плотность при полном водонасыщении	$\rho_{d(G=1)}$	т/м ³	+	+	+	+
22	Коэффициент водонасыщения	$G = W\rho_s / \varepsilon$		+	+	+	+
23	Плотность взвешенного грунта	$\rho_{вз} = \rho_d - \rho_d / \rho_s$	т/м ³	+	+	+	+
24	Плотность грунта естественной влажн.	ρ	т/м ³	+	+	+	+
25	Критический градиент при выпоре	J_k^B	-	+	-	-	+
26	Критический градиент при суффозии	J_k^C	-	+	-	-	+
27	Крит. град. при контактом размыве	J_k^P	-	+	-	-	+
28	Относительное свободное набухание	ε_{sw}	-	-	-	-	+
29	Давление набухания	P_{sw}	Па	-	-	-	+
30	Влажность набухания	W_{sw}	%	-	-	-	+
31	Коэффициент пористости	$\varepsilon = \rho_s / \rho_d - 1$	-	+	+	+	+
32	Пористость	$n = \varepsilon / (1 + \varepsilon)$	дол. ед	+	+	+	+
33	Показатель сжимаемости	$a = \frac{n_1 - n_2}{\sigma_1 - \sigma_2}$	см ² /кг	+	+	+	+
34	Коэффициент поперечной деформации	$\beta = 1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu}$	-	+	+	+	+

35	Модуль деформации	$E = \frac{1+n_0}{a} \beta$	МПа	+	+	+	+
36	Нормативные показатели прочности	$\text{tg } \varphi^n, C^n$		+	+	+	+
37	Расчетные показатели прочности	$\text{tg } \varphi^p, C^p$		+	+	+	+
38	Прочность на разрыв	C_p	кг/см ²	-	-	-	+
39	Коэффициент фильтрации	K_ϕ	см/сек	+	+	-	+
40	Временное сопротивление на сжатие в сухом состоянии	R_n	кг/см ²	-	+	+	-
41	Временное сопротивление на сжатие в водонасыщенном состоянии	R_c	кг/см ²	-	+	+	-
42	Прочность по дробимости в цилиндре	D_p	-	-	-	+	-
42	Морозостойкость (испыт. в серн. натр)	-	-	-	+	+	-
43	Водопоглощение			-	+	+	-
44	Состав «цемента» песчаника, конгломер	-	-	-	-	+	-
45	Потенциальная реакционная способность	-	-	+	+	+	-
46	Испытание заполнителя в бетоне.	-	-	+	+	+	-
47	Модуль сдвига	G					+
48	Модуль объемной деформации	K					+

Гранулометрический (зерновой) состав грунтов по классификациям, в мм

Таблица 7-8

по строительной классификации																			
Валуны					гравий				песок					Пыль	г л				
>700	700-500	500-300	300-200	200-150	150-120	120-70	70-40	40-20	20-10	10-5	5-2.5	2.5-1.2	1.2-0.6	0.6-0.3	0.3-0.14	0.14-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005
по инженерно-геологической классификации																			
Валуны					галька				гравий	песок					Пыль	г л			

>1000
1000-800
800-500
500-300
300-200
200-100
100-80
80-40
40-20
20-10
10-5
5-2
2-1
1-0.5
0.5-0.25
0.25-0.10
0.10-0.05
0.05-0.01
0.01-0.005
<0.005

Минералогический состав песка

Таблица 7-9

Номер слоя	значение	фракции в мм	Наименование минералов в %								состав в %	
			Кварц	полевой шпат	гипс	карбо- натные	кремнистые	опал	слода	темно цветные		рудные
	сред нее по фрак- циям	5-2 2-1 1-0.5 0.5-0.25 0.25-0.1										
	сред нее по слою	5.0-0.1										
Среднее по месторож- дению		5.0-0.1										

Петрографический состав гравия

Таблица 7-10

Номер слоя	значение	фракции в мм	Наименование минералов в %								состав в %	
			Кварц	гранит	диабаз	пирфирит	известняк	сланец	яшмовидные	рудные		другие
	среднее по фрак- циям	80-40 40-20 20-10 10-5										
	среднее по слою	80-5										
Среднее по месторож- дению		80-5										

7.4.2 Систематизация и анализ данных по пескам и крупно-обломочным материалам.

Систематизация и анализ данных исследований начинается с установления средних и обобщенных показателей, характеризующих слои полезной толщи. Расчеты средних показателей выполняются с учетом выделенных слоев, горизонтов, блоков полезной толщи, а также с учетом рациональной разработки карьера. Средние показатели устанавливаются по каждой разведочной выработке, слою, блоку и в целом по месторождению.

Для подсчета среднего взвешенного гранулометрического состава пользуются специальной ведомостью, в которую заносят номера выработок, глубину отбора проб, мощность интервалов и результаты перемножения мощности интервалов на содержание фракций в %. Сумма всех произведений должна быть равна мощности опробованного интервала, умноженной на 100.

$$\Gamma_B = \frac{b_1 m_1 + b_2 m_2 + \dots + b_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n},$$

где b_1 , b_2 и b_n – содержание данной фракции в 1-ом, 2-ом и последующих интервалах или слоях в %.

m_1 , m_2 и m_n – мощность опробованных интервалов в м.

Средний взвешенный гранулометрический состав по блоку и месторождению в целом определяется исходя из объема слоев грунта полезной толщи. Средний взвешенный состав грунта каждой фракции « Γ_{Φ} » в % вычисляется по формуле:

$$\Gamma_{\Phi} = \frac{B \times C}{100} + \frac{B_1 \times C_1}{100} + \dots + \frac{B_n \times C_n}{100},$$

где C , C_1 и C_n – содержание (по объему) слоев полезной толщи в блок, или в месторождении в %.

Для грунтов полезной толщи, разведанной применительно к категории А и В на графике гранулометрического состава наносятся кривые, соответствующие отдельным пробам и средневзвешенному составу по месторождению. Грунт считается достаточно однородным, если 70% общего числа кривых отклоняются от средней кривой не более чем на 15%. В противном слу-

чае рекомендуются мероприятия по улучшению гранулометрического состава.

Когда в месторождениях песков и песчано-гравийного материала встречаются прослои глин, делают проверку на их промываемость.

Содержание фракций <0.005 мм в %	Класс промываемости
до 10	легко промываемые
10-30	средне промываемые
30-60	трудно промываемые
>60	весьма трудно промываемые

Если в полезной толще находится свыше 7% по объему трудно промываемых, или более 1 % весьма трудно промываемых глин, использование таких интервалов полезной толщи допускается только после получения положительных результатов технологических испытаний. Если пески используются в качестве материалов для устройства фильтров, к ним предъявляются требования по ограничению содержания пылевато-глинистых частиц. Допускается наличие таких грунтов не более 10%.

7.4.3 Систематизация и анализ данных по глинистым (связным) грунтам.

Глинистые (связные) грунты для противофильтрационных элементов плотин (ядра, экраны, понуры, зубья) должны быть слабо проницаемыми с $K_{\phi} < 1 \times 10^{-4}$ см/с, обладать фильтрационной устойчивостью, повышенной пластичностью (исключающей деформации с трещинообразованием), хорошей уплотняемостью и высокими показателями сопротивления сдвигу. Наилучшим материалом считается грунт с $K_{\phi} < 1 \times 10^{-6}$ см/с, содержащий 12-18 % глинистых и пылеватых частиц. Для противофильтрационных элементов пригодны крупно-обломочные грунты с глинистым заполнителем, прерывистого гранулометрического состава с частицами менее 0.25 мм в объеме 35 % и с не прерывистым гранулометрическим составом с частицами менее 5 мм в объеме не менее 45 %, в том числе глинистых, не менее 6 %. Максимальная крупность обломков в таких грунтах не должна превышать 200 мм.

Влажность грунта должна быть близкой к оптимальной (не

выше чем $\pm 2\%$). Легко уплотняемые глины с числом пластичности 0.07-0.20 при влажности близкой к границе раскатывания. Глины с числом пластичности более 0.25 плохо уплотняются даже при оптимальной влажности. Допускается к укладке грунты с содержанием водорастворимых солей (не выше 5 %), сульфатных и сульфатно-хлоридных соединений не более 10 %, органических – не более 8 %. Высокое содержание монтмориллонита допускается после детальных исследований.

Ниже даны примеры обработки данных лабораторных испытаний грунтов для определения коэффициента пористости, модуля деформирования и показателей $tg \varphi$ и C грунтов.

Примеры определения коэффициента пористости грунта «е» от вертикальной нагрузки МПа при компрессионных испытаниях. Фракции менее 5 мм.

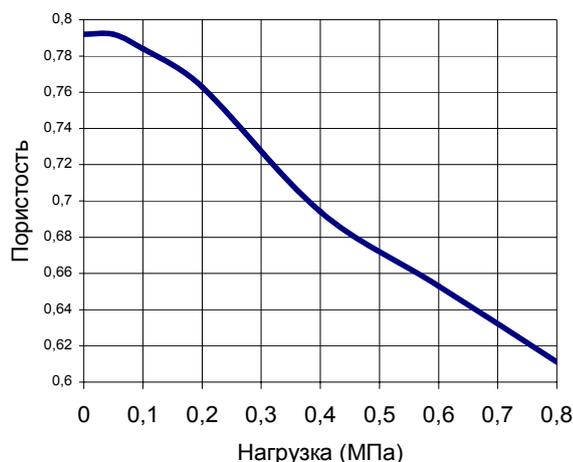


Таблица 7-11

№ п/п	№ шурфа	Глубина отбора, м.	№ лаборат пробы	Значение коэффициента пористости «е» в интервале нагруз.						
				0.0	0.0-0.05	0.05-0.10	0.05-0.20	0.05-0.40	0.05-0.60	0.05-0.08
1	4	0.6-3.4	628-630	0.791	0.788	0.757	0.703	0.648	0.605	0.574
2	5	0.6-5.5	631-635	0.747	0.747	0.747	0.744	0.688	0.653	0.621
3	6	0.6-5.2	636-640	0.700	0.700	0.700	0.673	0.612	0.596	0.545
4	7	0.7-4.9	641-644	0.755	0.755	0.755	0.748	0.680	0.634	0.606
5	8	0.5-5.2	645-649	0.750	0.750	0.700	0.675	0.591	0.550	0.522
6	9	0.7-4.9	650-654	0.773	0.773	0.773	0.773	0.711	0.672	0.640

7	10	0.5-5.2	655-658	0.789	0.789	0.789	0.785	0.723	0.685	0.657
8	11	0.5-5.45	659-662	0.856	0.856	0.856	0.815	0.734	0.685	0.661
9	12	0.5- 50	663-665	0.795	0.795	0.791	0.752	0.673	0.623	0.592
10	13	0.6-5.5	666-669	0.851	0.851	0.851	0.850	0.775	0.720	0.688
11	14	0.5-5.0	670-673	0.903	0.903	0.903	0.873	0.802	0.761	-
Среднее значения				0.792	0.792	0.784	0.763	0.694	0.653	0.611

Пример определения модуля деформации «Е» по результатам компрессионных испытаний грунта, фракции менее 5 мм.

шурф-5

глубина 0.60-5.50

№ опыта 631-635

Физические характеристики грунта. Таблица 7-12

Гранулометрический состав, % мм.											пластичность			Уд. вес
>10	10-5	5-2	2-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.10	0.1-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	<0.005	W _T	W _P	J	
0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.6	3.6	29.2	14.1	14.7	36.8	51.9	27.7	24.2	2.69

Таблица 7-13

Объемный вес	Влажность %		Объем. вес скелета	Пористость е	Коэффициент пористости	Степень влажности
	до опыта	после опыта				
1.90	23.4	27.9	1.54	42.8	0.747	0.84

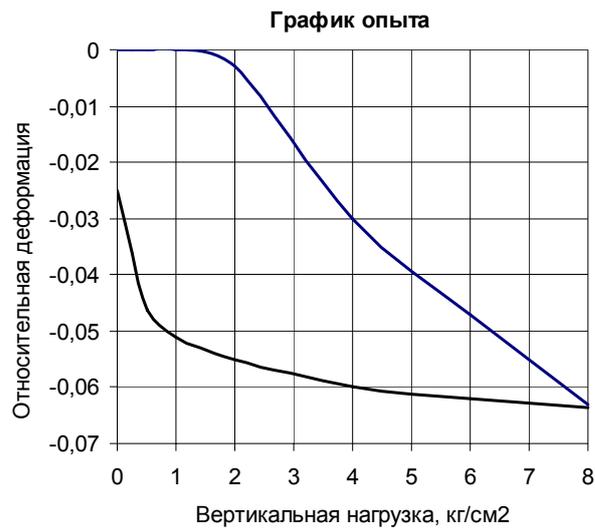
Давление набухания- $P_{sw}=1.90$, относительное набухание- $\delta_{sw}=0.117$, коэффициент поперечной деформации- $\mu=0.25$,

коэффициент сжимаемости $a = \frac{e_2 - e_1}{P_2 - P_1}$, $\beta = 1 - \frac{2\mu}{1 - \mu} = 0.833$,

модуль деформации $E = \frac{1 + e_0}{a} \beta$

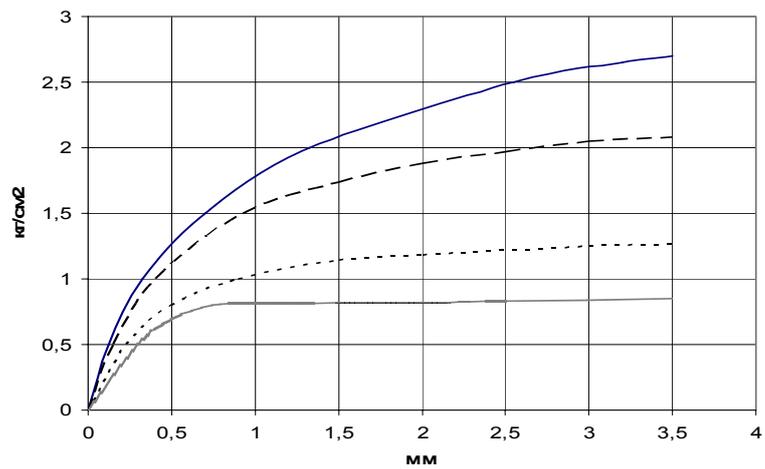
Данные компрессии Таблица 7-14

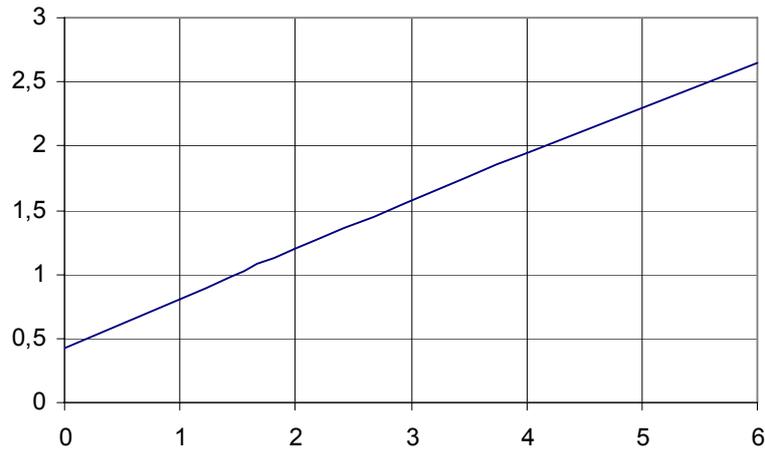
$\sigma, \text{кг/см}^2$	0	0.25	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0	8.0	4.0	2.0	0.5	0
e	0.747	0.747	0.747	0.747	0.744	0.688	0.653	0.621	0.626	0.635	0.651	0.744
$\frac{e_0 - e_1}{\sigma_1 - \sigma_2}$				0	0.003	0.030	0.047	0.063	0.060	0.056	0.048	
a см/кг						0.028	0.018	0.016				
E						52.0	80.8	91.0				



Пример определения $\text{tg}\phi$ и C .

Консолидированный дренированный срез грунта с заданной плотностью и влажностью (фракции < 5мм). скв-2, глубина взятия пробы 7.5-10.0м, лабораторный опыт № 478-481.





Результаты опыта

$$\sigma \quad 1 \quad 2 \quad 4 \quad 6$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{n \sum \sigma_i \tau_i - \sum \tau_i \sum \sigma_i}{n \sum \sigma_i^2 - (\sum \sigma_i)^2} = \frac{4 * 26.9 - 6.6 * 13}{4 * 57 - 13^2} = 0.369$$

$$\tau \quad 0.8 \quad 1.2 \quad 1.95 \quad 2.65$$

$$C = \frac{\sum \tau_i - \operatorname{tg}\varphi * \sum \sigma_i}{n} = \frac{6.6 - 0.369 * 13}{4} = 0.451 \text{ кг/см}$$

Определение нормативных и расчетных значений прочностных показателей грунтов (продолжение к рис. 9).

Результаты сдвиговых испытаний глинистых грунтов.

Таблица 7-15

№ п/п	№ выработки	глубина отбора, м	№ лабораторного опыта	Значения τ кг/см ² при σ кг/см ²				показатели	
				1	2	4	6	$\operatorname{tg}\varphi$	C , кг/см ²
1	скв-1	3.0-10.0	458-465	0.6	0.8	1.2	1.5	0.181	0.436
2		0-3.0	545-457	0.6	0.6	1.2	1.6	0.217	0.295
3	скв-2	0.6-2.7	467-469	0.9	1.2	1.8	2.9	0.393	0.422

4		2.7-7.5	470-477	0.8	0.7	1.6	2.1	0.292	0.353
5		7.5-10.0	478-481	0.8	1.2	1.95	2.65	0.369	0.449
6	скв-4	3.1-10.5		0.9	0.9	1.2	1.5	0.127	0.712
7	скв-3	0-2.5	482-484	0.8	1.25	1.9	2.4	0.316	0.560
8		2.5-7.0	485-488	0.75	0.9	1.4	1.6	0.179	0.581
9	скв-5	0-4.6	499-502	0.55	0.8	1.2	1.5	0.189	0.398
10		4.6-10.5	503-506	0.6	1.1	1.7	2.25	0.321	0.369
11	Ш-1	0.6-3.5	616-618	0.6	0.8	1.0	1.5	0.171	0.419
12	Ш-2	0.75-4.1	619-622	0.6	1.0	1.2	1.6	0.183	0.505
13	Ш-3	0.55-5.1	623-627	0.6	0.9	1.2	1.5	0.173	0.488
Средние значения				0.700	0.935	1.427	1.892	0.239	0.460

$$\sum \tau = 64.4, \quad \sum \sigma = 169.0, \quad \sum \tau\sigma = 255.2, \quad \sum \sigma^2 = 741.0, \quad n = 52,$$

$$\bar{\sigma} = 3.25, \quad \sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2 = 191.75$$

Вычисление нормативных и расчетных значений $\text{tg}\varphi_n$, C_n и $\text{tg}\varphi_1$, C_1 выполняется в соответствии с [40].

$$\sum (C_n + \sigma_i * \text{tg}\varphi_n - \tau_i)^2 = 4.9708,$$

где

$$\text{tg}\varphi_n = \frac{n\sum \tau\sigma - \sum \tau \sum \sigma}{n\sum \sigma^2 - (\sum \sigma)^2} = \frac{52 * 255.2 - 64.4 * 169}{52 * 741 - 169^2} = 0.239,$$

$$C_n = \frac{\sum \tau - \text{tg}\varphi_n \sum \sigma}{n} = \frac{64.4 - 0.239 * 169}{52} = 0.460$$

$$D = \frac{\sigma_{\max} - \bar{\sigma}}{\sqrt{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}} = \frac{6 - 3.25}{\sqrt{191.75}} = 0.198$$

$$G = \frac{\sigma_{\min} - \bar{\sigma}}{\sqrt{\sum (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}} = \frac{1 - 3.25}{\sqrt{191.75}} = -0.163$$

$$\lambda = \sqrt{0.5 \left[1 - \frac{1 + nGD}{\sqrt{(1 + nG^2) * (1 + nD^2)}} \right]} =$$

$$\sqrt{0.5 \left[1 - \frac{1 + 52 * (-0.163) * 0.198}{\sqrt{(1 + 52 * (-0.163^2) * (1 + 52 * 0.198^2))}} \right]} =$$

0.791 → V=2.01

$$S_{\tau} = \sqrt{[1 : (n - 2)] \Sigma (C_n + \sigma_1 \text{tg} \varphi_n - \tau_l)^2} =$$

$$= \sqrt{1 : (52 - 2) * 4.9708} = 0.315$$

$$\tau_{n \min} = C_n + \sigma_{\min} \text{tg} \varphi_n = 0.460 + 1 * 0.239 = 0.699$$

$$\tau_{n \max} = C_n + \sigma_{\max} \text{tg} \varphi_n = 0.46 + 6 * 0.239 = 1.894$$

$$\delta_{\tau \min} = \frac{VS}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{n(\sigma_{\min} - \bar{\sigma})^2}{\Sigma(\sigma_l - \bar{\sigma})^2}} =$$

$$= \frac{2.01 * 0.315}{\sqrt{52}} \sqrt{1 + \frac{52 * (1 - 3.25)^2}{191.75}} = 0.135$$

$$\tau_{\max} = \frac{VS}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{n(\sigma_{\max} - \bar{\sigma})^2}{\Sigma(\sigma_l - \bar{\sigma})^2}} =$$

$$= \frac{2.01 * 0.315}{\sqrt{52}} \sqrt{1 + \frac{52 * (6 - 3.25)^2}{191.75}} = 0.153$$

Коэффициент надежности по грунту равен

$$\gamma_g = \frac{\tau_{n \min} + \tau_{n \max}}{\tau_{n \min} - \delta_{\tau \min} + \tau_{n \max} - \delta_{\tau \max}} =$$
$$= \frac{0.699 + 1.894}{0.699 - 0.135 + 1.894 - 0.153} = 1.125$$

Расчетные значения равны

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi_n / \gamma_g = 0.239 / 1.125 = 0.213$$

$$C_1 = C_n / \gamma_g = 0.460 / 1.125 = 0.409$$

7.4.4 Систематизация и анализ данных по горным породам.

Горные породы, используемые в качестве строительного камня, оцениваются с учетом многочисленных показателей, определяющих их качество. Для этих целей следует знать: петрографический состав, структурно-тектонические особенности, содержание включений разных пород и минералов, относящихся к вредным примесям, содержании прослоев глинистых и других «засоряющих» пород, степень выветрелости, плотность, пористость и водопоглощение, предел прочности на сжатие в сухом и насыщенном состоянии, содержание слабых пород, морозостойкость, технологические показатели, зерновой состав после взрыва, форма зерен щебня, классификация пород по группам БВР.

Зерновой состав горной массы, получаемый в карьере после взрыва, зависит главным образом от естественной трещиноватости массива. Однако его можно регулировать путем подбора параметров взрыва. Необходимо выполнить опытные взрывы. Для определения зернового состава взорванной породы отбирают пробы объемом не менее 8-10 м³.

Оценка трещиноватости пород по керну (Л Шаумян)

Таблица 7-16

№п/п	Степень трещиноватости	Модуль трещиноватости	Высота керна, см	Кол-во раздробленного материала, %
1	Слабо трещиноватые	1-5	20	-
2	Средне трещиноватые	5-10	10-20	>10
3	Сильно трещиноватые	10	<10	10-20
4	Очень сильно трещиноватые	10	<10	50
5	Зоны дробления	10	<10	80

Модуль трещиноватости - количество трещин на 1 м линии измерения.

Классификация скальных пород по выветрелости.

Таблица 7-17

Степень выветрелости	Коэффициент выветрелости $K_{вс}$	Коэффициент трещиной пустотности $K_{тн}$ %
Сильно выветрелые	<0.8	>5
Выветрелые	0.8-0.9	2-5
Слабо выветрелые	0.9-1	1-2
Не выветрелые	1	<1

$K_{вс}$ – отношение объемного веса образца к объемному весу невыветрелого образца того же грунта

$K_{тн}$ - объем пустот (трещин) в единице объема массива.

Плотность (объемный вес) скального грунта определяется путем замера суммарного веса отсыпанной массы и объема насыпи. Коэффициент остаточного разрыхления вычисляется путем сравнения объемного веса горной массы с объемным весом по-

роды.

7.4.5 Требование к грунтовым материалам для строительства плотин и приготовления бетона.

7.4.5.1 Требование к качеству грунтов для плотин не однозначны и зависят от типа плотины, способа производства работ и эффективности проектных решений. В грунтах для отсыпки плотин содержание водорастворимых хлоридных соединений не должно превышать 5 % по массе, количество сульфатных или сульфатно-хлоридных не более 10 %, органических примесей (остатки растений) не более 5 %, полностью разложившихся органических веществ, находящихся в аморфном состоянии- не более 8 %.

К каменным материалам четких требований нет. Требования к прочности камня предъявляются для плотин выше 60 м. Для плотин, возводимых методом направленного взрыва, временное сопротивление пород сжатию плотин высотой до 100 м-камень в водонасыщенном состоянии должен иметь прочность 20-30 МПа, при высоте до 400 м осадочные породы 75 МПа, изверженные- 100 МПа. Для наброски используется горная масса, содержащая комьев глины, почвенного слоя и растительных остатков не более 5 %, гипса и других водорастворимых солей не более 1 %, тонко плитчатых разновидностей- не более 15 %. Для обводненных зон и переменного уровня воды используется камень с коэффициентом размягчения не менее для изверженных и метаморфических пород- 0.9, для осадочных пород- 0.8, к камню, используемому для крепления верхового откоса, предъявляются требования по морозостойкости (Мрз 15, 25, 50, 150, 200).

7.4.5.2 Заполнители для бетона.

В качестве заполнителей для бетона используются песок с фракциями 0.14-5 мм и гравий 5-120 мм с модулем крупности соответственно 1.5-3.5 для песка и 6.5-9.5 для крупного заполнителя. Пески с модулем крупности менее 2 требуют применение поверхностно-активных добавок. Коэффициент вариации

модуля крупности не должен превышать 10 %. Пески из карбонатных пород, изверженных пористых, а также искусственные заполнители могут использоваться только после лабораторных исследований. При рН воды менее 6.5 для бетона может использоваться только песок из изверженных пород. Прочность пород заполнителей для бетона должна в 2-3 раза превышать прочность бетона.

Пример определения модуля крупности песка и гравия.

Таблица 7-18

Размеры отверстий сит мм	Частные остатки на ситах		Полные остатки на ситах %	
	г	%	песок	гравий
120	-	-	-	-
80	1000	10		10
40	1340	13		23
20	4000	40		63
10	2660	27		90
5	580	6		96
2.5	212	21	21	117
1.2	94	9	30	126
0.6	187	19	49	145
0.3	435	44	93	189
0.14	43	4	97	-
<0.14	29	3	-	-
Сумма песка	1000	100	290	-
Сумма гравия	10.000	100		772
Всего	11000			

Модуль крупности песка $M_p = 290/100 = 2.9$ гравия $M_g = 772/100 = 7.7$

Допустимое содержание вредных примесей в заполнителях для бетона.

Таблица 7-19

Примеси	Зона переменного уровня воды	Подводная и внутренняя зона	Надводная зона

Содержание пылеватых и глинистых частиц не должно превышать % по массе	2 (1.0)	5 (1.0)	5 (2.0)
Глина в комках	Не допускается		
Органические примеси определяются колориметрическим методом	Окраска раствора не темнее эталона. При окраске темнее эталона пригодность песка определяется специальными исследованиями в бетоне.		
Серно-кислые и сернистые соединения в пересчете на SO в % по массе	1 (0.5)	1 (0.5)	1 (0.5)
Слюда, в % по массе	1	3	2
Аморфные разновидности двуоксида кремния	При испытании по ГОСТ 8735-88 не более 50 ммоль/л		
Опал, опало содержащие породы и потенциально реакционно-способные минералы	(Не допускаются без специальной проверки)		

Примечание:

- во время изысканий петрографическими, химическими или другими методами необходимо тщательно изучать песок для определения содержания в нем аморфного кремнезема и его модификаций, потенциально способных вступить в реакцию со щелочами цемента.

- в скобках требования, предъявляемые к крупным заполнителям.

Требования к показателям физических и механических свойств крупного заполнителя для бетона.

Таблица 7-20

Показатели	Зона переменного уровня	Все остальные зоны
Марка щебня по прочности не ниже:		
для осадочных пород	800	600

для изверженных пород	1000	800
Марка по дробимости в (цилиндре)	Др.8	Др.12
Прочность зерен не ниже	2.5 г/см ³	2.3 г/см ³
Водопоглощение щебня не ниже		
для изверженных и метаморфических	0.5 %	0.8 %
для осадочных	1.0 %	2.0 %
Зерен слабых пород в щебне и гравии не должно превышать	5 %	10 %
Зерен лещадной и игольчатой формы (при отношении линейных размеров >3)	35 %	35 %

Приложение 8. Содержание тендерной документации

Том-1 Условия контракта (составляется Заказчиком).

Инструкции участникам Тендера.

Формы тендерной гарантии.

Общие и частные Условия Контракта.

Формы Контрактного Соглашения.

Том-2 Общие и специальные технические условия (составляется Проектировщиком)

Том-3 Спецификации объемов работ (составляется Проектировщиком)

Том-4 Детальные чертежи (составляется Проектировщиком).

Ниже в качестве примера приведено содержание томов 2 и 3 для гидроузла, состоящего каменно-земляной плотины с грунтовым ядром, поверхностным траншейным водосбросом и сооружением для пропуска строительных расходов, которое в конце строительства переустраивается в водовыпуск.

Том-2. Общие и специальные технические условия.

Принятые сокращения.

Глава-1. **Общие сведения.**

1.1 Описание проекта.

1.1.01. Состав сооружений.

1.1.02 Местоположение и задача проекта.

- 1.2 Природные условия.
- 1.2.01 Природные условия строительства.
- 1.2.02 Климат.
- 1.2.03 Гидрологические условия.
- 1.2.04 Инженерно-геологические и гидрогеологические условия.
- 1.3 Основные обязанности Подрядчика.
- 1.3.01 Общие положения.
- 1.3.01.01 Офис Подрядчика и офис Инженера.
- 1.3.01.02 Персонал Подрядчика.
- 1.3.01.03 Временные сооружения Подрядчика.
- 1.3.01.04 Хранение и защита материалов от воздействия погоды.
- 1.3.01.05 Водо- и энергоснабжение. Средства связи.
- 1.3.01.06 Границы рабочих площадок.
- 1.3.02 Сохранность не принадлежащего Подрядчику имущества.
- 1.3.02.01 Общие положения.
- 1.3.02.02 Временный вынос существующих объектов.
- 1.3.02.03 Перенос существующих сооружений.
- 1.3.02.04 Содержание и уход за существующими объектами.
- 1.3.02.05 Ведение документации.
- 1.3.03 Подъездные дороги.
- 1.3.03.01 Общие положения.
- 1.3.03.02 Обеспечение транспортного движения по существующим дорогам.
- 1.3.03.03 Строительство подъездных дорог.
- 1.3.04 Рабочие совещания.
- 1.3.05 Отчеты Подрядчика.
- 1.3.05.01 Ежемесячные отчеты.
- 1.3.05.02 Ежедневные отчеты.
- 1.3.05.03 Отчетные фотографии.
- 1.3.05.04 Исполнительные чертежи.
- 1.3.06 Проект производства работ.
- 1.3.07 Геодезическое обеспечение работ.
- 1.3.07.01 Опорные знаки государственной сети.

- 1.3.07.02 Местная система координат
- 1.3.07.03 Вынос в натуру.
- 1.4 Стандарты и нормы.
- 1.5 Обеспечение качества материалов.
 - 1.5.01 Общие положения.
 - 1.5.02 Лабораторные испытания материалов.
 - 1.5.03 Согласование материалов и оборудования, приобретаемых Подрядчиком.
 - 1.5.04 Ответственность за заказные материалы и промышленные изделия.
 - 1.5.05 Ответственность за избыточные материалы и промышленные изделия.
 - 1.5.06 Отбор образцов и проб материалов.
 - 1.5.06.01 Предварительный отбор проб и приемочные испытания.
 - 1.5.06.02 Отбор проб материалов и их испытания после предварительной приемки.
 - 1.5.06.03 Бракованные материалы.
- 1.6 Инспектирование Инженера в период выполнения строительных работ.
- 1.7 Заполнение водохранилища.
- Глава-2 **Пропуск строительных расходов.**
 - 2.1 Общие положения.
 - 2.2 Сооружения для пропуска строительных расходов.
 - 2.3 Требования к строительным перемычкам.
- Глава-3. **Выемка грунта.**
 - 3.1 Общие положения.
 - 3.1.01 Определения.
 - 3.1.02 Контрольные выработки.
 - 3.1.03 Топографическое обеспечение.
 - 3.1.04 Подготовка территории.
 - 3.1.05 Расчистка территории от природных материалов.
 - 3.1.06 Удаление растительного слоя.
 - 3.2 Операции по выемки грунта.
 - 3.2.01 Оборудование.
 - 3.2.02 Требования к выемки грунта.

- 3.2.03 Переборы грунта.
 - 3.2.04 Организация взрывных работ.
 - 3.2.05 Водоотлив при производстве работ.
 - 3.2.06 Требования к отвалам грунта.
 - 3.2.07 Борьба с эрозией.
 - 3.2.08 Карьеры строительных материалов.
 - 3.2.08.01 Общие положения.
 - 3.2.08.02 Контрольные выработки и испытания материалов.
 - 3.2.08.03 Контроль влажности материалов в карьерах.
 - 3.2.08.04 Восстановительные работы на отвалах и кавальерах.
 - 3.2.09 Карьеры камня.
 - 3.2.09.01 Общие положения.
 - 3.2.09.02 Предварительные изыскания.
 - 3.2.09.03 Опытные взрывные работы.
 - 3.2.09.04 Испытания камня.
 - 3.2.09.05 Выемки для временных зданий и сооружений.
 - 3.2.09.06 Учет объемов работ по выемки грунта.
 - 3.3 Технические условия для выполнения работ по основным сооружениям.
 - 3.3.01 Требования к подготовке основания.
 - 3.3.02 Выемка под ядро плотины и переходные зоны, уход за основанием.
 - 3.3.02.01 Выемка грунта под плиту цементации.
 - 3.3.02.02 Уборка территории после работ по цементации.
 - 3.3.03 Выемка грунта под бетонные конструкции.
 - 3.3.04 Взрывные работы. Специальные требования.
- Глава-4 Насыпь и обратная засыпка.**
- 4.1 Общие сведения.
 - 4.1.01 Определения.
 - 4.1.02 Краткое описание конструкции плотины.
 - 4.2 Общие требования к операциям по устройству насыпи.
 - 4.2.01 Устройство ограждений.
 - 4.2.02 Требования к строительным механизмам и оборудованию
 - 4.2.03 Перечень норм и видов испытаний грунтов и мате-

риалов.

- 4.2.04 Экспериментальные работы по устройству насыпи.
- 4.2.05 Укладка грунтовых материалов.
- 4.2.06 Планировка грунта и контроль влажности.
- 4.2.07 Уплотнение грунта.
- 4.2.08 Защита откосов насыпи.
- 4.2.09 Обратная засыпка.
- 4.3 Технические условия на устройство насыпи.
- 4.3.01 Допуски при отсыпке грунта.
- 4.3.02 Отсыпка ядра плотины.
- 4.3.02.01 Требования к материалам.
- 4.3.02.02 Устройство промежуточных складов материалов.
- 4.3.02.03 Укладка глинистого грунта в ядро плотины.
- 4.3.02.04 Контроль качества укладки
- 4.3.03 Отсыпка материалов фильтров.
- 4.3.03.01 Общие положения
- 4.3.03.02 Требования к укладке первого слоя фильтров.
- 4.3.03.03 Требования к укладке переходного слоя фильтров.
- 4.3.03.04 Контроль качества работ.
- 4.3.04 Устройство насыпи из камня.
- 4.3.04.01 Требования к материалам.
- 4.3.04.02 Укладка и уплотнение.
- 4.3.04.03 Контроль качества насыпи из камня.
- 4.3.05 Камень для крепления верхового откоса.
- 4.3.05.01 Требования к материалам.
- 4.3.05.02 Укладка камня в крепление верхового откоса.
- 4.3.05.03 Контроль качества работ.
- 4.3.06 Отсыпка перемычек.
- 4.3.07 Насыпь для устройства временных дорог и площадок.

Глава-5. **Бетонные работы.**

- 5.1 Общие положения.
- 5.2 Стандарты и нормы.
- 5.3 Материалы для бетона.
- 5.3.01 Общие положения.
- 5.3.02 Цемент.
- 5.3.02.01 Качество цемента.

- 5.3.02.02 Предварительная приемка.
- 5.3.02.03 Доставка и складирование.
- 5.3.02.04 Испытания.
- 5.3.03 Заполнители для бетона.
- 5.3.03.01 Общие требования.
- 5.3.03.02 Качество заполнителей.
- 5.3.03.03 Ограничения по вредным примесям.
- 5.3.03.04 Ограничения по водопоглощению.
- 5.3.03.05 Ограничения по наличию пылеватых частиц.
- 5.3.03.06 Требования к крупным заполнителям.
- 5.3.03.07 Требования к песку.
- 5.3.03.08 Требования к хранению материалов.
- 5.3.04 Вода для приготовления бетона.
- 5.3.05 Требования к использованию добавок.
- 5.4 Ведение документации.
- 5.5 Бетонные и железобетонные работы.
- 5.5.01 Основные требования.
- 5.5.02 Бетонные смеси.
- 5.5.02.01 Общие положения.
- 5.5.02.02 Марки бетона по прочности и водонепроницаемости.
- 5.5.02.03 Составы бетонных смесей.
- 5.5.02.04 Пробные замесы и испытания.
- 5.5.03 Контроль качества бетонных смесей.
- 5.5.04 Товарный бетон.
- 5.5.05 Испытания бетона.
- 5.5.05.01 Отбор проб для испытаний.
- 5.5.05.02 Лабораторные испытания.
- 5.5.06 Бетонирование.
- 5.5.06.01 Общие требования.
- 5.5.06.02 Транспортировка.
- 5.5.06.03 Подготовка блоков к укладке бетона.
- 5.5.06.04 Укладка и уплотнение бетонной смеси.
- 5.5.06.05 Устройство полостей и установка закладных деталей.
- 5.5.06.06 Бетонирование в жаркую погоду. (при $t \geq 30^{\circ}\text{C}$).

- 5.5.06.07 Бетонирование в сырую погоду.
- 5.5.06.08 Бетонирование в холодную погоду.
- 5.5.07 Опалубочные работы.
- 5.5.07.01 Изготовление чертежей опалубки.
- 5.5.07.02 Требование к опалубке.
- 5.5.07.03 Установка опалубки.
- 5.5.07.04 Крепление опалубки.
- 5.5.07.05 Покрытия опалубки.
- 5.5.07.06 Требования к криволинейной опалубки.
- 5.5.07.07 Классы опалубки и допуски при ее установке.
- 5.5.07.08 Допускаемые отклонения бетонных конструкций.
- 5.5.07.09 Снятие опалубки.
- 5.5.08 Арматурные работы.
- 5.5.08.01 Общие положения.
- 5.5.08.02 Требования к арматуре.
- 5.5.08.03 Хранение арматуры.
- 5.5.08.04 Резка и гнутьё арматурных стержней.
- 5.5.08.05 Очистка арматурных стержней.
- 5.5.08.06 Монтаж арматуры и арматурных конструкций.
- 5.5.08.07 Монтаж закладных частей.
- 5.5.08.08 Приемка арматурных работ.
- 5.5.09 Строительные и деформационные швы.
- 5.5.09.01 Строительные (технологические) швы.
- 5.5.09.02 Деформационные швы.
- 5.5.09.03 Уплотнения швов.
- 5.5.10 Отделка поверхности.
- 5.5.10.01 Общие положения.
- 5.5.10.02 Типы отделки.
- 5.5.10.03 Устранение дефектов поверхности.
- 5.5.10.04 Удаление и замена некачественного бетона.
- 5.5.11 Уход за бетоном.
- 5.5.11.01 Общие положения.
- 5.5.11.02 Устройство временных покрытий.
- 5.6 Торкрет-бетон.
- 5.6.01 Общие положения.
- 5.6.02 Оборудование.

- 5.6.03 Материалы для торкрет-бетона.
- 5.6.04 Составы смесей.
- 5.6.05 Пробная укладка.
- 5.6.06 Подготовка поверхности.
- 5.6.07 Нанесение торкрет-бетона.
- 5.6.08 Контроль качества работ.
- 5.7 Сборные железобетонные конструкции.
- 5.7.01 Общие положения.
- 5.7.02 Требования к изготовлению сборных железобетонных конструкций.
- 5.7.03 Монтаж сборного железобетона.
- 5.8 Установка анкеров.
- Глава-6 **Цементация основания.**
- 6.1 Общие положения.
- 6.2 Методика выполнения работ.
- 6.3 Подготовительные работы.
- 6.4 Определение местоположения скважин, нумерация.
- 6.5 Бурение скважин.
- 6.5.01 Бурение и промывка скважин.
- 6.5.02 Решение проблем возникающих при бурении скважин.
- 6.5.03 Надзор за работами и документация.
- 6.6 Требования к установке тампонов.
- 6.7 Гидравлические испытания.
- 6.8 Материалы для цементации.
- 6.8.01 Цемент
- 6.8.02 Вода.
- 6.8.03 Добавки.
- 6.9 Оборудование для цементации.
- 6.9.01 Растворные узлы.
- 6.9.02 Насосные установки.
- 6.9.03 требования к емкостям для приготовления раствора.
- 6.9.04 Контрольные приборы.
- 6.10 Растворы.
- 6.11 Требования к нагнетанию раствора.
- 6.12 Давление нагнетания.

- 6.13 Отклонения от нормального хода нагнетания раствора.
- 6.13.01 Гидравлические разрывы.
- 6.13.02 Утечка раствора.
- 6.13.03 Вытекание раствора на поверхность.
- 6.13.04 Цементация каверн и крупных трещин.
- 6.13.05 Неисправная работа оборудования.
- 6.14 Дополнительные скважины.
- 6.15 Тампонаж скважин.
- 6.16 Контрольные испытания.
- 6.17 Документация по цементационным работам.
- 6.18 Поддержание порядка на строительной площадке.
- 6.19 Устройства дренажа в левобережном примыкании плотины.
- 6.19.01 Состав работ.
- 6.19.02 Топогеодезическое обеспечение.
- 6.19.03 Выполнение подготовительных работ.
- 6.19.04 Походка штольни
- 6.19.05 Устройство временной крепи.
- 6.19.06 Устройство бетонной облицовки
- 6.19.07 Устройство заполнительной и укрепительной цементации
- 6.19.08 Бурение дренажных скважин
- 6.19.09 Контроль качества работ. Ведение исполнительной документации.

Глава-7 Контрольно-измерительная аппаратура.

- 7.1 Общие положения.
- 7.2 Требования к квалификации персонала.
- 7.3 Объекты, подлежащие наблюдению.
- 7.4 Средства наблюдения.
- 7.4.01 Фильтрация в основании плотины и примыканиях.
- 7.4.02 Деформации тела плотины.
- 7.4.03 Гидрометрические наблюдения.
- 7.5 Условия поставок.
- 7.5.01 Общие положения.
- 7.5.02 Индикаторы уровней воды.
- 7.5.03 Датчики поставок.

- 7.6 Строительно-монтажные работы.
- 7.6.01 Общие положения.
- 7.6.02 Установка пьезометров.
- 7.6.03 Геодезические знаки.
- 7.6.04 Опорные репера.
- 7.6.05 Водомерные устройства.
- 7.7 Исполнительная документация.
- Глава-8 **Трубопроводы и запорная арматура.**
- 8.1 Общие положения.
- 8.1.01 Краткое описание конструкции трубопроводов.
- 8.1.02 Поставка труб. Общие требования.
- 8.2 Поставка стальных труб и арматуры. Специальные требования.
- 8.3 Поставка задвижек. Специальные требования.
- 8.3.01 Общие положения.
- 8.3.02 Задвижки.
- 8.3.03 Силовой привод для задвижек.
- 8.3.04 Защитное покрытие.
- 8.3.05 Прочие требования.
- 8.4 Строительство трубопроводов.
- 8.4.01 Очистка труб и задвижек.
- 8.4.02 Закладные детали.
- 8.4.03 Узлы анкеров и опор.
- 8.4.04 Резка труб.
- 8.4.05 Соединения труб
- 8.4.05.01 Общие требования.
- 8.4.05.02 Фланцевые соединения.
- 8.4.05.03 Сварные соединения.
- 8.4.05.04 Изоляция соединений.
- 8.4.06 Монтаж трубопровода. Общие требования.
- 8.4.07 Укладка трубопровода в трубе строительного водосброса.
- 8.4.08 Сварные работы.
- 8.4.08.01 Общие требования.
- 8.4.08.02 Подготовка элементов к сварке.
- 8.4.08.03 Сборка труб и фланцевых соединений.

- 8.4.08.04 Техника сварки труб и фланцевых соединений.
- 8.4.08.05 Электроды для дуговой сварки.
- 8.4.08.06 Контроль качества сварных швов.
- 8.4.08.07 Хранение и подготовка сварочных материалов к работе.
- 8.4.08.08 Требования к сварщикам.
- 8.4.08.09 Контроль и приемка сварочных работ.
- 8.5 Испытание трубопроводов под давлением.
- Глава-9. **Металлоконструкции.**
- 9.1 Общие положения.
- 9.1.01 Требования к стали.
- 9.1.02 Размеры.
- 9.1.03 Сертификаты заводов изготовителей.
- 9.1.04 Перемещения и транспортировка.
- 9.1.05 Прием поставок и хранение.
- 9.1.06 Сварочные работы.
- 9.1.07 Окраска металлоконструкций.
- 9.2 Монтаж металлоконструкций.
- Глава-10 **Механическое оборудование.**
- 10.1 Общие положения.
- 10.1.01 Объемы работ.
- 10.1.02 Условия поставки.
- 10.1.03 Комплектность поставок.
- 10.1.04 Стандарты и нормативы.
- 10.1.05 Размеры.
- 10.1.06 Сертификаты завода изготовителя.
- 10.1.07 Инспектирование и испытания.
- 10.1.08 Представляемая документация.
- 10.1.08.01 Чертежи и диаграммы.
- 10.1.08.02 Расчеты (только по механической части).
- 10.1.08.03 Документация по инспектированию и испытаниям.
- 10.1.08.04 Инструкция по эксплуатации и обслуживанию
- 10.1.08.05 Список запасных частей.
- 10.1.09 Материалы и качество.
- 10.1.09.01 Материалы.
- 10.1.09.02 Качество.

- 10.1.09.03 Сварка.
 - 10.1.10 Запасные части и инструменты.
 - 10.1.11 Окраска.
 - 10.1.12 Упаковка и маркировка.
 - 10.1.13 Перемещение и транспортировка.
 - 10.1.14 Приемка поставок и хранение.
 - 10.2 Механическая часть трубопровода.
 - 10.2.01 Конструкция.
 - 10.2.02 Материалы.
 - 10.2.03 Поставка.
 - 10.3 Задвижки, арматура и прочее.
 - 10.4 Центробежный вентилятор для вентиляции помещений.
 - 10.5 Электрический мостовой кран.
 - 10.5.01 Общие требования.
 - 10.5.02 Доставка.
 - 10.6 Ручная таль.
 - 10.7 Монорельс с опорами для ручной тали.
- Глава-11 **Электрооборудование.**
- 11.1 Общие положения.
 - 11.2 Объем поставок.
 - 11.3 Спецификация оборудования.
 - 11.3.01 Трансформаторная подстанция 20/0.4 кВ.
 - 11.3.01.01 Основные технические данные.
 - 11.3.01.02 Технические параметры автоматических выключателей.
 - 11.3.01.03 Конструкция.
 - 11.3.01.04 Заземление и молниеотводы.
 - 11.3.02 Воздушная линия 20 кВ
 - 11.3.03 Громоотводы ВВ 20 кВ. Технические данные.
 - 11.3.04 Кабели 20 кВ.
 - 11.3.05 Дизель-генератор 40 кВа
 - 11.3.06 Опоры линии электропередач 0.4 кВ
 - 11.3.07 Низковольтная коммуникационная аппаратура.
 - 11.3.07.01 Общие положения.
 - 11.3.07.02 Электрические соединения.
 - 11.3.07.03 Защита.

- 11.3.07.04 Приборы.
 - 11.3.07.05 Сигнальные лампы и устройства.
 - 11.3.07.06 Конструкция панелей и щитов.
 - 11.3.07.07 Компоненты.
 - 11.3.08 Заземление.
 - 11.4 Технические характеристики кабеля 0.4 кВ.
 - 11.4.01 Общие положения.
 - 11.4.02 Кабельные распределительные коробки.
 - 11.4.03 Укладка кабелей.
 - 11.5 Электрическое освещение.
 - 11.5.01 Общие положения.
 - 11.5.02 Внутреннее освещение.
 - 11.5.03 Внешнее освещение.
 - 11.6 Условия поставок.
 - 11.6.01 Общие положения.
 - 11.6.01.01 Гарантийные (справочные) данные.
 - 11.6.01.02 Расходы на испытания.
 - 11.6.01.03 Условия и порядок испытаний.
 - 11.6.01.04 Калибровка приборов.
 - 11.6.02 Заводские испытания.
 - 11.6.02.01 Общие положения.
 - 11.6.02.02 Испытание трансформатора и дизель-генератора.
 - 11.6.02.03 Испытания кабелей.
 - 11.6.02.04 Испытания изоляторов.
 - 11.6.03 Испытания на месте.
 - 11.6.03.01 Общие положения.
 - 11.6.03.02 Испытания трансформатора и дизель-генератора.
 - 11.6.03.03 Испытания линий передач.
 - 11.6.03.04 Испытания кабелей.
 - 11.6.04 Штатные ситуации и отказы.
 - 11.6.04.01 Общие положения.
 - 11.6.04.02 Штатные ситуации и отказы трансформатора и дизель-генератора.
 - 11.6.04.03 Отказы изоляторов.
- Глава-12 **Дороги и подъезды.**
- 12.1 Объемы работ.

- 12.2 Подготовительные работы для дорог и подъездов.
- 12.3 Технические условия на выполнение строительных до-
рог.
- 12.4 Основание дорожного покрытия.
 - 12.4.01 Подготовка дорожного покрытия.
 - 12.4.02 Устройство слоя черного покрытия.
 - 12.4.02.01 Общие положения.
 - 12.4.02.02 Требования к материалам.
 - 12.4.02.03 Укладка слоя щебня, пропитанного битумом.
 - 12.4.02.04 Контроль качества работ по устройству дорожно-
го покрытия.
- 12.5 Асфальтобетонное покрытие.
 - 12.5.01 Общие положения.
 - 12.5.02 Материалы.
 - 12.5.03 Укладка и уплотнение.
 - 12.5.04 Допуски.
 - 12.5.05 Контроль качества асфальтобетона.
- 12.6 Придорожные сооружения.
 - 12.6.01 Дорожные кюветы и канавы.
 - 12.6.02 Дорожные ограждения.
 - 12.6.03 Опоры и дорожные знаки.

Том-3 Спецификации объемов работ.

Введение.

Глава-1 Общие положения.

- 1.1 Контрактная документация.
- 1.2 Стоимость исполнения контракта.
- 1.3 Достаточность контрактной документации.
- 1.4 Объемы работ.
 - 1.4.01 Общие положения.
 - 1.4.02 Изменения объемов и состава работ.
 - 1.4.03 Ценообразование.
- 1.5 Поставки.
 - 1.5.01 Поставки материалов.
 - 1.5.02 Поставки оборудования.

Глава-2 Замеры объемов и оплата работ.

- 2.1 Подготовка и защита основания.
- 2.2 Открытая выемка.
 - 2.2.01 Замеры объемов.
 - 2.2.02 Оплата работ.
- 2.3 Выемка траншей.
- 2.4 Выемка котлована основных сооружений.
- 2.5 Насыпь и обратная засыпка.
 - 2.5.01 Общие положения.
 - 2.5.02 Насыпь.
 - 2.5.03 Обратная засыпка.
- 2.6 Бетонные работы.
 - 2.6.01 Общие положения.
 - 2.6.02 Монолитный бетон.
 - 2.6.03 Торкрет-бетон.
 - 2.6.04 Сборный железобетон.
- 2.7 Арматура и закладные части.
 - 2.7.01 Общие положения.
 - 2.7.02 Арматура.
 - 2.7.03 Закладные части.
- 2.8 Уплотнения деформационных швов.
- 2.9 Металлоконструкции.
- 2.10 Окраска.
- 2.11 Подъездные дороги.
- 2.12 Цементация.
 - 2.12.01 Общие положения.
 - 2.12.02 Замеры объемов и оплата работ по цементации.
 - 2.12.03 Бурение скважин.
 - 2.12.04 Нагнетание раствора.
- 2.13 Контрольно-измерительная аппаратура.
 - 2.13.01 Общие положения.
 - 2.13.02 Пьезометры.
 - 2.13.03 Геодезические знаки, индикаторы уровней воды, гидрометрические станции.
- 2.14 Трубопроводы, запорная арматура.
- 2.15 Оборудование.
- 2.16 Прочие работы и поставки для строительных работ.

Спецификации объемов работ.

Часть-1 Строительные работы.

Общие данные

Перечень № 1-1 Сооружения для пропуска строительных расходов и перемычки.

Перечень № 1-2 Противофильтрационные мероприятия в основании.

Перечень №1-3 Насыпь плотины.

Перечень № 1-4 Поверхностный водосброс.

Перечень № 1 -5 Подъездные дороги.

Перечень № 1-6 Контрольно-измерительная аппаратура.

Перечень № 1-7 Электрооборудование.

Перечень № 1-8 Дополнительные работы.

Часть-2 Оборудование.

Общие данные.

Перечень № 2-1 Трубопроводы. Задвижки и арматура

Перечень № 2-2 Механическая и электрическая части.

Перечень № 2-3 Электрооборудование.

Часть-3 Перечни.

Перечень-1 Инструменты и запасные части.

Перечень-2 Список Субподрядчиков.

Перечень-3 Список оборудования Подрядчика.

Перечень-4 Перечень приобретаемого оборудования.

Перечень 4-1 Ремонтный затвор.

Перечень 4-2 Затвор.

Перечень 4-3 Опоры линий электропередач.

Перечень 4-4 Кабели.

Перечень 4-5 Изоляторы 0.4 кВ.

Перечень 4-6 Силовые кабели 0.4 кВ.

Перечень 4-7 Дизель-генератор 40 кВ 380/220 В, 50 гц.

Перечень 4-8 Трансформаторная подстанция заводской сборки.

Перечень 4-9 Распределительный щит.

Перечень 4-10 Центробежный вентилятор.

Перечень 4-11 Погружной насос.

Перечень 4-12 Электрический мостовой кран.

Всего по Тендеру.

Том-4 Детальные чертежи.

1. Отчет «Климат и гидрологические условия».
2. Отчет «Инженерно-геологические и гидрогеологические условия».
3. Отчет «Исследования по карьерам строительных материалов».
4. Краткая пояснительная записка по сооружениям гидроузла.
5. Рабочие чертежи сооружений.

Приложение 9. Содержание декларации безопасности ГТС (для ГТС Узбекистана)

1. Раздел «Краткие сведения об эксплуатируемом ГТС.

Полное и сокращенное наименование эксплуатирующей организации,

Наименование вышестоящей организации, министерства, ведомства,

Наименование должности руководителя эксплуатирующей организации,

Полный почтовый адрес эксплуатирующей организации, телефон, факс, адрес электронной почты,

Состав и общая характеристика объектов ГТС, сведения о численности и размещении персонала,

Сведения о границах и размерах территории ГТС, границах запретных и санитарно-защитных зон,

Краткая характеристика основных положений проекта ГТС, результатов исследований и изысканий, в том числе:

1.7.1 Основные компоновочные и конструктивные решения, а также основных способов производства СМР,

1.7.2 Климат и гидрологические условия (температура воздуха, скорость ветра, наблюдаемые и расчетные расходы воды, гидрограф паводка),

1.7.3 Инженерно-геологические, гидрогеологические и сейсмические условия.

1.7.4 Сведения о селевой и оползневой опасности (при наличии таких явлений).

1.7.5 Перечень основных научно-исследовательских работ и экспериментальных исследований ГТС, выполненных для обоснования проектных решений, основные выводы и рекомендации, использованные в проекте.

1.7.6 Сведения о принятых в проекте параметрах нагрузок и воздействий, методах расчетов, результатах расчета сооружений на устойчивость и прочность (фильтрационную прочность грунтов), о мероприятиях, обеспечивающих недопущение перелива воды через гребень плотин (дамб и т.д.).

1.7.7 Сведения о принятых в проекте критериях безопасности ГТС.

1.8 Общие меры безопасности ГТС и организации контроля.

1.8.1 Системы инструментального и визуального контроля за состоянием ГТС, результаты натуральных наблюдений по каждому виду КИА.

1.8.2 Перечень контролируемых показателей состояния ГТС, критериев безопасности.

1.8.3 Системы АСУ, раннего предупреждения и оповещения.

1.8.4 Предусмотренный проектом план действий эксплуатационного персонала в аварийной ситуации.

1.8.5 Системы охраны объекта и обеспечения его безопасности в особый период.

1.8.6 Перечень реализованных технических и организационных решений, направленных на обеспечения безопасности ГТС.

1.9 Характеристика зоны возможного затопления.

1.9.1 Результаты определения зоны затопления.

1.9.2 Сведения о возможных материальных, социальных и экологических последствиях аварии ГТС (ущербах).

1.10 Перечень имеющейся на объекте утвержденной ПСД, включая изменения и дополнения, внесенные в проект в установленном порядке.

2 Раздел «Сведения об изменениях, влияющих на безопасность ГТС, произошедших после утверждения декларации. (отвечать да, нет. Да- сопровождать кратким изложением характера изменения)

2.1 Информация о соответствии существующего состояния ГТС действующим нормам и правилам, современным методам расчета и оценки его безопасности.

2.1.1 Сведения о изменениях положений норм, методов расчета и методов оценки состояния сооружений.

2.1.2 Сведения об изменениях условий эксплуатации сооружений.

2.1.3 Сведения об изменениях факторов (кроме природных воздействий), влияющих на безопасность сооружения.

2.2 Информация о превышении принятых в проекте расчетных уровней природных воздействий.

2.2.1 Переоценка расчетных максимальных расходов вод источника.

2.2.2 Переоценка расчетных сейсмических воздействий.

2.2.3 Сведения о селевой и оползневой опасности, в том числе переработка берегов.

2.2.4 Сведения о других факторах.

2.3 Информация об изменениях расчетных значений физико-механических и фильтрационных свойств грунтов тела и основания ГТС, строительных материалов, из которых возведены сооружения из-за:

2.3.1 изменения методов определения и назначения расчетных характеристик.

2.3.2 обнаружение в процессе строительства и эксплуатации дефектов конструкций и основания.

2.3.3 изменений гидрогеологического режима.

2.3.4 «разжижения» грунтов тела и основания плотин при динамических воздействиях.

2.3.5 других факторов.

2.4 Отклонения от проектных условий в период эксплуатации.

2.4.1 уменьшения пропускной способности водопропускных сооружений.

- 2.4.2 нарушения режимов эксплуатации ГТС и оборудования.
- 2.4.3 снижения надежности механического, энергетического и др. оборудования.
- 2.4.4 выхода из строя средств контроля состояния ГТС.
- 2.4.5 не соблюдения правил эксплуатации ГТС.
- 2.4.6 другие факторы.
- 2.5 Отклонения установленных проектом критерием критериев безопасности от показателей состояния сооружений полученных по результатам натурных наблюдений.
- 2.6 Сведения об авариях и аварийных ситуациях на эксплуатируемом ГТС.
- 2.7 Сведения о планируемых и невыполненных мероприятиях, направленных на обеспечение безопасности ГТС.

3 Раздел. Оценка влияния изменений на безопасность эксплуатируемого ГТС.

- 3.1 Оценка категории риска ГТС, уточнение класса сооружения.
- 3.2 Анализ уточнений, внесенных в проект в период строительства и эксплуатации, включая оборудование и энергоснабжение. Оценка их влияния на безопасность ГТС.
- 3.3 Уточнение степени заиления водохранилищ, каналов и коллекторов, переформирование бьефов гидроузлов.
- 3.4 Уточнения величины максимальных расчетных расходов в связи с удлинением ряда наблюдений и изменения норм, а также расходов, связанных с прорывом горных озер, расположенных выше водохранилищ и условий их пропуска через сооружения.
- 3.5 Оценка влияние на безопасность ГТС изменений пропускной способности водопропускных сооружений и режимов их работы.
- 3.6 Уточнения расчетных уровней воды в верхнем и нижнем бьефах, выбор мероприятий по недопущению перелива воды через гребень плотины (дамбы и т.д).
- 3.7 Уточнения физико-механических и фильтрационных свойств грунтов тела и основания сооружений, принятых в про-

екте, с учетом результатов исследования в период строительства и эксплуатации ГТС, а также изменений норм.

3.8 Уточнение фильтрационной прочности грунтов основания и тела ГТС, прочности бетонных конструкций по результатам натурных наблюдений.

3.9 Уточнения сейсмических условий ГТС в связи с изменениями норм и инженерно-геологических условий района расположения ГТС.

3.10 Уточнение устойчивости ГТС и бортовых склонов по данным пп. 3.6-3.9.

3.11 Оценка влияния других изменений на безопасность ГТС.

3.12 Оценка работоспособности механического и электронного оборудования.

3.13 Описание возможных аварийных ситуаций ГТС, уточнение критериев безопасности.

3.14 Оценка вероятности (риска) аварии в существующих условиях и после выполнения восстановительных работ.

4. Раздел. Готовность эксплуатируемого ГТС к локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

4.1 Модернизация системы АСУ затворов, системы раннего предупреждения и оповещения.

4.2 Описание плана действий эксплуатационного персонала ГТС в аварийной ситуации (ПДАС).

4.2.1 Классификация аварийных ситуаций.

4.2.2 Процедура оценки аварийных ситуаций, порядок уведомления и принятия решений.

4.2.3 Перечень обязанностей участников ПДАС.

4.2.4 План подготовки персонала ГТС и других организаций – участников ПДАС и проведение совместных учений.

4.2.5 Техническая документация по сооружениям и картографический материал с нанесением границ зоны затопления.

4.2.6 Сведения о необходимых объемах и номенклатуре резервов материальных ресурсов для ликвидации чрезвычайных ситуаций.

5. Раздел. Заключение.

5.1 Итоговая оценка безопасности ГТС.

5.2 Перечень основных причин снижения безопасности ГТС.

5.3 Перечень основных мероприятий по обеспечению безопасности ГТС.

5.4 Выводы, содержащие перечень необходимых мероприятий и условий, при выполнении (соблюдении) которых возможна эксплуатация ГТС.

Приложения:

1. Справка о состоянии ГТС с актом обследования.
2. Схема размещения сооружений с прилегающей территорией, попадающей в зону затопления.
3. Схема каскада ГТС, расположенных на реке.
4. Линейная схема каналов.
5. Характерные продольные профили и поперечные сечения по основным ГТС.
6. Схема размещения КИА, схема АСУ и системы раннего предупреждения и оповещения.
7. Инженерно-технические и организационные мероприятия, направленные на обеспечение безопасности ГТС.

Приложение 10. Оперативные методы контроля качества укладки грунтов и бетона.

Послойная укладка глинистых грунтов [11].

Оперативный метод контроля качества укладки глинистых грунтов в противofильтрационные элементы ГТС основан на оценке плотности мелкозема (грунта с содержанием частиц менее 5 мм). Из уплотняемого слоя отбирается монолит массой до 1 кг. и по стандартной методике определяется его плотность (ρ). Затем монолит разрушается, высушивается при повышенной температуре (до 200⁰) и определяется влажность (W) грунта в монолите. Высушенный и измельченный грунт просеивается через сито с диаметром отверстий 5 мм и устанавливается со-

держание частиц менее 5 мм ($m_{<5}$). Влажность включений крупнее 5 мм ($m_{>5}$) устанавливается заранее путем выборочных определений на стадии изысканий с обязательным периодическим контролем и уплотнением в период строительства. Влажность мелкозема определяется из выражения

$$W_{<5} = \frac{W - W_{>5}(1 - m_{<5})}{m_{<5}}$$

Установление влажности мелкозема ($W_{<5}$) необходимо для контроля влажности укладываемого грунта

$$A * W_{opt} \leq W \leq B * W_{opt}$$

где W_{opt} - оптимальная влажность по Проктору. А и В соответственно нижний и верхний допускаемые пределы отклонения влажности укладываемого грунта при проектном коэффициенте уплотнения – K_{com} .

Плотность скелета монолита и мелкозернистой части грунта определяются по формулам:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + W}, \quad \rho_{d<5} = \frac{\rho_d \times \rho_{d>5} \times m_{<5}}{\rho_{d>5} - \rho_d(1 - m_{<5})}$$

где ρ - плотность монолита в целом; ρ_d - плотность скелета фракций крупнее 5 мм; $m_{<5}$ – содержание мелкозема в монолите; $\rho_{d<5}$ – плотность скелета мелкозема; W – влажность монолита.

Для определения качества уплотнения грунта в слое из грунта разрушенного монолита отбирается проба для установления предела пластичности (W_L), после чего рассчитывается параметр Проктора по уравнению:

$$\rho_{d \max} = 1.44 + 0.88 \ln \frac{\rho_s}{1 + e_L}, \text{ где}$$

$$\frac{\rho_s}{1 + e_L} - \text{плотность скелета грунта при влажности } W_L$$

$e_L = (\rho_s * W_L) / \rho_w$ – коэффициент пористости грунта при влажности на границе текучести

ρ_w – плотность воды
 W_L – влажность на границе текучести
 $W_{opt} = 11.83 * \ln(e_{opt} * W_L) + 37.07$
 $(e_{opt} * W_L)$ – квалификационный показатель грунта, представляющий собой комбинацию физических характеристик.

$$e_{opt} = \frac{\rho_s - \rho_{dmax}}{\rho_{dmax}} - \text{коэффициент пористости максимально}$$

уплотненного грунта.

ρ_s – плотность частиц грунта (удельная).

ρ_{dmax} – максимальная плотность сухого грунта.

W_L – влажность на границе текучести.

$K_{com i}$ – коэффициент достигнутого уплотнения грунта в

слое. $K_{com i} = \frac{\rho_{d<5}}{\rho_{dmax}} \geq K_{com}$ по проекту.

Таким образом коэффициент уплотнения устанавливается для каждого образца (пробы) с учетом его индивидуальных особенностей по гранулометрическому составу, глинистости, а не по отношению к средним показателям по карьере. При не выполнении вышеуказанных условий назначаются необходимые мероприятия, обеспечивающие проектные требования по уплотнению.

По установленным значениям $\rho_{d<5}$, $m_{<5}$, W_L , вычисляются показатели прочности ($tg \varphi$, C) и коэффициент фильтрации для каждой пробы и в среднем по слою.

$$tg \varphi = 0.231 - 0.33 \ln(e/e_i), \quad C = 21.63 - 40.39 \ln(e/e_i) \text{ кПа. где}$$

$$e - \text{коэффициент пористости} \quad e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1$$

$$e_i = \frac{\rho_s \times W_L}{\rho_w} - \text{коэффициент пористости, соответствующий}$$

влажности W_L – верхнему пределу пластичности. ρ_w – плотность воды.

e/e_i – квалификационный показатель, отражающий состояние глинистого грунта (по прочности) после уплотнения в слое (при $K_{com} = 96-103\%$ $J_L \leq 0$ глинистость грунта $W_L = 32-61\%$)

коэффициент фильтрации $K_{\phi} = 0.574$

$$\left(\frac{e}{m_{<5} \times W_L} \right)^{3.22} \times 10^{-7} \text{ см/с, } e - \text{ коэффициент пористости уплот-$$

ненного слоя грунта, $m_{<5}$ – содержание в пробе грунта частиц размером менее 5 мм (относительно единицы), W_L – верхний предел пластичности (относительно единицы).

Данный метод контроля позволяет оценить значения характеристик грунта, поданного на технологические карты и его уплотнение в слое.

Послойная укладка горной массы.

Максимальная плотность сухого грунта определяется по формуле:

$$\rho_{dmax} = \frac{\rho_s}{1 + e_{min}}, \text{ где}$$

ρ_s – плотность частиц грунта (удельная).

e_{min} – минимальный коэффициент пористости конкретного состава.

$$e_{min} = \frac{e_{0min}}{\sqrt[6]{K_{60/10}}},$$

$e_{0min} = 0.35$ минимальное возможное значение коэффициента пористости для однородного грунта с $K_{60/10} = 1$. $K_{60/10}$ – коэффициент однородности грунта.

Согласно [11] максимальная плотность сухого грунта устанавливается по графику, используя расчетные значения минимальной плотности

$$\rho_{dmin} = \frac{A \times \rho_s}{2.65(P\sqrt{K})^{0.05}}, \text{ где}$$

A – коэффициент, характеризующий материал ($A = 2.28$ – гравийно-галечниковый грунт, $A = 1.86$ – горная масса).

$$K = \frac{d_1 - d_2}{P - \lg(d_1/d_2)} \times \sum \left(\frac{P_i}{d_{2i} - d_{1i}} \right) \lg \left(\frac{d_{2i}}{d_{1i}} \right) - \text{коэффициент ха-}$$

рактизирующий гранулометрический состав. d_2 и d_1 – максимальные и минимальные расчетные диаметры частиц. P – процентное содержание частиц в диапазоне d_1 - d_2 . P_i , d_{1i} , d_{2i} – процентное содержание и диаметр частиц грунта в отдельных интервалах при разбивке гранулометрического состава на «п» участков

$$\rho_{d_{\max}} = 1.794 + 0.125 \ln[(1-n) k \rho_s]$$

$(1-n)$ – объем частиц в единице объема грунта.

$n = (0.45 - 0.1 \lg K_{60/10})$ – пористость грунта по формуле [34].

$k = (1 + 0.05 K_{60/10})$ – коэффициент неравномерности раскладки грунта в уложенном слое.

ρ_s – плотность частиц камня (удельная).

Процесс контроля состоит из двух этапов:

- определение ρ_{di}

В соответствии с нормами [34] методом шурфа определяется плотность уложенного грунта (ρ). Затем для вынутого из шурфа пробы устанавливается гранулометрический состав, в том числе ситовой анализ и определение влажности по формуле

$$W = W_{<20} * m_{<20} + W_{>20} (1 - m_{<20}), \text{ где}$$

$m_{<20}$ – содержание фракций менее 20 мм, относительно единицы.

$W_{<20}$ – влажность фракций менее 20 мм в % (проба из шурфа весом 1-3 кг)

$W_{>20}$ – влажность фракций крупнее 20 мм в % (устанавливается лабораторно заранее).

Искомое значение плотности скелета уложенного грунта определяется по формуле:

$$\rho_{di} = \frac{\rho}{1 + W}$$

- оценка качества уплотнения.

Используя полученные характеристики грунта слоя, определяют максимальную плотность скелета грунта ($\rho_{d_{\max}}$) кон-

кретного гранулометрического состава пробы. Оценку качества уплотнения выполняют по формуле: $K_{com\ i} = \rho_{di}/\rho_{dmax} \geq K_{com\ прокта}$

При выполнении этого условия результаты уплотнения горной массы признаются удовлетворительными. В противном случае требуется дополнительное уплотнение.

Прочность уложенной горной массы определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\varphi = 0.684 + 0.049 \ln K_{60/10}, \text{ при } K_{com} > 0.96$$

$$R_c = 4587(n * P_{CaCO_3}) - 0.781 \text{ кПа.}$$

R_c – предел прочности породы на одноосное сжатие.

$n = 1 - \rho_d/\rho_s$ – пористость относительно единицы.

ρ_d – плотность скелета.

ρ_s – плотность частиц.

P_{CaCO_3} - содержание $CaCO_3$ относительно единицы.

Укладка бетона в массивные сооружения.[18].

Нормативные методы контроля прочности бетона ГТС основаны на механических испытаниях стандартных образцов. Такие методы дают приближенные результаты с фактической прочностью бетона из-за различий в условиях укладки, уплотнения и выдерживания бетона в образцах и в сооружении, а также из-за малого объема выборки. Наиболее распространенные ультразвуковые импульсные методы при испытании массивных конструкций, имеющих большие поперечные размеры, искажают показатель однородности бетона. Целесообразно использовать для контроля качества бетона поверхности строительных блоков. Однако их поверхность доступна для испытаний только в ранний период твердения, когда на показатели прочности бетона оказывают большое влияние температурный режим, возраст, внешняя среда и другие факторы.

Параллельные испытания образцов бетона в лаборатории методом сквозного прозвучивания и поверхности строительных блоков бетонных сооружений методом поверхностного профилирования по схеме встречных годографов с использованием ультразвуковых приборов позволили установить зависимости

прочности бетона от величины скорости ультразвука $R=f(V_p)$ и влияния различных производственных факторов на величину скорости ультразвука.

Параметры технологии по блокам в период исследований изменялись в следующих диапазонах:

- бетонная смесь приготавливалась на портландцементе марки 300 с удельным расходом 220-260 кг/м³,
- коэффициент вариации прочности бетона на сжатие в возрасте одного месяца 0.07-0.20.
- бетонная смесь укладывалась в один слой высотой 0.3-1.25 м,
- интенсивность подачи бетонной смеси в блоки составляла 7-26 м³/ч,
- температура бетонной смеси при укладке колебалась в пределах 9-23⁰С,
- максимальный разогрев бетона от экзотермии 3-41⁰С,
- продолжительность перерывов между бетонированием смежных по высоте блоков 2-369 суток.
- снятие цементной пленки с поверхности свежееуложенного бетона и уход за ним осуществлялись с использованием струи воды. Начало работ через 6 часов после завершения уплотнения бетонной смеси.

$$V_p = k_1 V_0 + [1.15 - 0.6 \cdot \lg(t_M \cdot \sqrt{\lg \tau_p})] \cdot \lg \tau_p, \text{ при } \tau_p = 180 \text{ сут,}$$

$$V_p = k_1 V_0 - 1.353 \lg t_M + 0.562 \text{ км/с.}$$

$$k_1 = 1.32 + 0.25 \lg t_M - 0.15 V_0,$$

$$V_0 = V_\tau - [1.15 - 0.6 \lg(t_M \cdot \sqrt{\lg \tau})] \cdot \lg \tau,$$

$$t_M = 1.17 t_n + \left(4 - \frac{4}{h}\right) + 0.23(t_0 - t_n) + [1.34 + 0.11(t_{0c} - t_n)]^2,$$

$$V_\tau = k_2 V_i, \quad k_2 = 0.7 + \frac{1.55}{V_i} + \frac{(\lg t_M - \lg t_n)(1 - 0.6 \lg \tau)}{V_i},$$

Где V_p – расчетная скорость ультразвука (км/с), позволяющая производить оценку прочности бетона по зависимости скорость-прочность; V_0 - скорость ультразвука в конце первых суток твердения бетона; V_i – скорость, измеренная методом встречных годографов в возрасте τ ; V_τ - скорость, измеренная

методом сквозного прозвучивания в возрасте τ ; t_M – расчетная (максимальная) средняя объемная температура твердения бетона строительного блока, градусах; t_n – температура бетона в поверхностном слое строительного блока, в градусах. Она зависит от среднесуточной температуры наружного воздуха (t_b).

- для сухой поверхности $t_n = 3.0 + 1.1 t_b$,

- при увлажненной поверхности $t_n = 6.3 + 0.7 t_b$,

- при наличии на поверхности слоя воды $t_n = 8.0 + t_b$

t_0 – средняя объемная температура нижележащего блока, в градусах.

t_{6c} – температура бетонной смеси, в градусах.

k_1 – коэффициент, учитывающий нестандартные условия твердения бетона.

k_2 – коэффициент перехода от скорости ультразвука в поверхностном слое к средней по высоте блока.

При поверхностных методах прозвучивания для оценки прочности бетона используется средняя скорость ультразвука по высоте блока, что приводит к искажению показателей его однородности. Кроме того, с увеличением возраста показатели однородности изменяются. Для учета этих изменений вводятся поправочные коэффициенты.

$$K_c = \left(7.29 + \frac{0.157}{C_1} - 1.834 V_\tau \right) \times \frac{\tau}{0.96\tau + 1.57},$$

$$K_p = \left(7.68 + \frac{0.131}{C_2} - 1.943 V_\tau \right) \times \frac{\tau}{0.96\tau + 1.78},$$

где K_1 и K_2 – поправочные коэффициенты для показателей однородности бетона на сжатие и растяжение. C_1 и C_2 – показатели однородности бетона, полученные по результатам испытаний методом встречных годографов.

Примечание: поправочные коэффициенты к однородности бетона (K_1 и K_2) получены по результатам испытания образцов бетона, изготовленных из кернов, выбуренных из ГТС или опытных блоков.

Модуль деформации бетона принимается по зависимости $E = f(R_c)$, приведенной в [38].

Список литературы

1. Айрапетян Р.А. Проектирование каменно-набросных и каменно-земляных плотин. Энергия М. 1968 г.
2. Бобков С.Ф, Боярский В.М. и др. Основные факторы учета пропускной способности гидроузлов при декларировании их безопасности. Безопасность ГТС.
3. Бородавченко И.И. Справочник. Мелиорация и водное хозяйство. М. ВО Агропромиздат, 1988 г.
4. Большая советская энциклопедия. Том 6, М 1971 г.
5. ГОСТ 122.48-96 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности деформируемости.
6. ГОСТ 20069-81 Грунты. Метод полевого испытания статическим зондированием.
7. ГОСТ 19912-81 Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием.
8. ГОСТ 20276-99 Грунты. Метод полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
9. Департамент научно-технической политики и развития. ЕЭС Россия. Методы определения критериев безопасности ГТС М. 2000 г.
10. Ермолаев Н.Н, Михеев В.В. Надежность оснований сооружений. Л. 1976 г.
11. Жарницкий В.Я. Обеспечение качества и надежности каменно-земляных плотин при строительстве. Иваново. 2005 г.
12. Закон Республики Узбекистан «О безопасности ГТС». 1999 г.
13. Инженерно-геологические изыскания для гидроэнергетических сооружений. ВСН 34.2-88 Минэнерго М 1989 г.
14. Инструкция по применению сейсморазведки в инженерных изысканиях для строительства. РСН 45-77. Госстрой РСФСР М Стройиздат. 1977 г.
15. Инструкция по инженерно-геологическому обследованию ГТС на водохранилищах малого объема. ФГУП Рос НИИВХ Екатеринбург 2001 г.

16. Исполнительный комитет МФСА. Агентство проекта GEF. Программа Бассейна Аральского моря. Компонент- С: Безопасность плотин и управления водохранилищами. 2000 г.
17. Киселев П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам М.Л. 1957 г.
18. Кулешов Г.Н. Совершенствование технологии производства внутриблочных работ при возведении массивных бетонных сооружений. Автореферат М. 1984 г.
19. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин. Энергия М. 1968 г.
20. Маркович Э.С. Курс высшей математики с элементами теории вероятности и математической статистики. М Высшая школа. 1972.
21. Межгосударственные строительные нормы. Гидротехнические сооружения. Основные положения. МСН 304-01-2005.
22. Межгосударственные строительные нормы. Гидротехнические сооружения. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. МСН 3.04-101 2005 г.
23. Мирцхулава Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. М. 1974 г.
24. Нуртаев Б.С. Вероятностная оценка сейсмической опасности и моделирование сейсмических воздействий на Ахангаранской плотине. Ташкент ин-т Геологии и геофизики АН РУз 2000 г.
25. Проектирование и строительство больших плотин. Повреждения плотин в процессе эксплуатации. Скрыльников В.В. и др. под редакцией Борового А.А. М. Энергия. 1972 г. выпуск 3.
26. Проектирование и строительство больших плотин. Аварии и повреждения плотин. Розанов Н.С, Царев А.И. под редакцией Борового А.А. М. Энергоатомиздат. 1986 г.
27. Перегудов В.Н. Метод наименьших квадратов и его применение в исследованиях Статистика М. 1965 г.
28. Рекомендации по расчету обратных фильтров плотин из грунтовых материалов ВНИИ Водгео Госстроя СССР М. 1982 г.
29. Рекомендации по проектированию обратных фильтров ГТС. П 92-80 ВНИИГ Л. 1981 г.

30. Рекомендации по проектированию и возведению плотин из низкопрочных и засоленных грунтов. ВНИИ Водгео Госстроя СССР М. 1981 г.
31. Рекомендации по определению предельно-допустимых значений показателей состояния и работы ГТС. П-836-85. Гидропроект М. 1988 г.
32. Розанов Н.С. Повреждения плотин и исследования по обеспечению их надежности и безопасности. ГТС №8 1979 г.
33. Руководство по изысканиям естественных минеральных строительных материалов для гидроэнергетического строительства. П 891-91 Гидропроект М. 1991 г.
34. Руководство по геотехническому контролю за подготовкой оснований и возведению грунтовых сооружений в энергетическом строительстве. РД 34.15.073.91. Л. ВНИИГИМ 1991 г.
35. РТМ 44-62. Методика статистической обработки эмпирических данных. М. 1966 г.
36. Скрыльников А.А. Методы расчета элементов и режимов эксплуатации магистрального питания открытых оросительных систем. Автореферат. Ташкент 1997 г.
37. СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования М. 1987г.
38. СНиП 2.06.-8-87 Бетонные и железобетонные конструкции ГТС. М 1988 г.
39. СНиП 2.01.14-83 Определение расчетных гидрологических характеристик. М. 1984 г.
40. СНиП 2.02.-2-85 Основания гидротехнических сооружений. М. 1986 г.
41. СНиП П-7-81* Строительство в сейсмических районах М. 1991 г.
42. СНиП 2.06.05.-84 Плотины из грунтовых материалов. М. 1985 г.
43. СНиП 2.06.06- 85 Плотины бетонные и железобетонные. М. 1986 г.
44. СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) М. 1986 г.
45. Справочник по гидротехнике. Водгео М. 1955 г.

46. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства.
47. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства.
48. Типовые правила эксплуатации водохранилищ емкостью 10 млн м³ и более. РД 33.3.2.08-87 Минводхоз СССР М. 1987 г.
49. Чернов Ю.К. Сильные движения грунтов и оценка сейсмической опасности территорий. Ташкент, Фан, 1989 г.
50. Численные методы. М. Высшая школа. 1976 г.

Содержание рекомендаций

№	наименование	стр- цы
	Введение	3
1	Общие положения	6
1.1	Назначение ГТС, определение категорий их опасности	6
1.2	Основные понятия безопасности ГТС	9
1.3	Выбор контролируемых и диагностических показателей ГТС	11
1.4	Определение критериев безопасности ГТС	13
1.5	Оценка уровня риска аварии ГТС	18
1.5.1	Теоремы теории вероятностей и законы распределения	18
1.5.2	Оценка вероятности возникновения аварии ГТС	19
1.5.3	Методы определения вероятности наступления отдельных событий	31
1.6	Особенности разрушения ГТС, определение границ зоны затопления	36
1.7	Положения по созданию систем раннего предупреждения и оповещения	43
2	Обеспечение безопасности ГТС при разработке детальных проектов	50
2.1	Климат и гидрологические условия	50
2.2	Инженерно-геологические и гидрогеологические условия	52
2.3	Оценка сейсмических условий расположение ГТС	58
2.4	Изыскания минеральных строительных материалов	59
2.5	Разработка детальных проектов	63

3	Обеспечение безопасности ГТС в период строительства	67
3.1	Разработка проектов производства работ	67
3.2	Обеспечение качества строительных материалов.	68
3.3	Оперативный контроль укладки грунтов и бетона.	68
3.4	Исполнительная документация по строительно-монтажным работам	69
3.5	Проведение исследований в период строительства	72
3.6	Пуско-наладочные работы	73
3.7	Авторский (технический) надзор в период строительства	74
3.8	Отчет о строительстве ГТС	74
4	Обеспечение безопасности ГТС в период эксплуатации	75
4.1	Обследование состояния ГТС	75
4.2	Инженерные изыскания	78
4.3	Геодезическое обеспечение изыскательских работ	79
4.4	Натурные наблюдения за состоянием ГТС	79
4.5	Анализ данных эксплуатации ГТС	85
	Приложения	87
1	Перечень контролируемых показателей состояния ГТС	87
2	Установление зависимостей между переменными величинами	97
3	Ведомость критериев безопасности для гидроузла с грунтовой плотиной	117
4	Определение численных значений вероятности событий	120
5	Определение свойств грунтов по данным геофизических испытаний.	145

6	Оценка возможности разжижения грунтов.	156
7	Требования к изысканиям минеральных строительных материалов	160
8	Содержание тендерной документации	188
9	Содержание декларации безопасности ГТС	204
10	Оперативные методы контроля качества укладки грунтов и бетона	209
11	Список литературы.	217