

**Акционерное общество «Узбекгидроэнерго»
Акционерное общество «Гидропроект»**



**СТРОИТЕЛЬСТВО
ПСКЕМСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ПСКЕМ
В БОСТАНЛЫКСКОМ РАЙОНЕ
ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ
ДОКУМЕНТ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА
ВАРИАНТ С ПЛОТИНОЙ ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА**

**ТОМ 2. РАЗДЕЛ VI-1
ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА
ЧАСТЬ 2. ПЛОТИНА ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА (RCC)
С ДОННЫМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДОСБРОСАМИ
(КОМПЛЕКС 2)**

№1921-ДОП-Т2.2

Ташкент, апрель 2025 г.

Акционерное общество «Узбекгидроэнерго»

Акционерное общество «Гидропроект»

**СТРОИТЕЛЬСТВО
ПСКЕМСКОЙ ГЭС НА РЕКЕ ПСКЕМ
В БОСТАНЛЫКСКОМ РАЙОНЕ
ТАШКЕНТСКОЙ ОБЛАСТИ**

**ДОКУМЕНТ ОЦЕНКИ ПРОЕКТА
ВАРИАНТ С ПЛОТИНОЙ ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА**

**ТОМ 2. РАЗДЕЛ VI-1
ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА**

**ЧАСТЬ 2. ПЛОТИНА ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА (РСС)
С ДОННЫМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДОСБРОСАМИ
(КОМПЛЕКС 2)**

№1921-ДОП-Т2.2

/ Директор

Главный инженер проекта

Главный инженер проекта плотины

Менеджер проекта

Р.А. Паратов

А.Г. Естифеева

А.В. Багликов

М. Karimi

Ташкент, апрель 2025 г

СОСТАВ ДОКУМЕНТА ОЦЕНКИ ПРОЕКТА (ДОП)

№	Наименование разделов проекта	Архивный номер
1.	ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	
1.1.	ТОМ 1. РАЗДЕЛЫ I – V: I ПАСПОРТ ПРОЕКТА II СТРАТЕГИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПРОЕКТА III ЦЕЛЬ ПРОЕКТА IV КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА V РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА	1921-ДОП-Т1
1.2	ТОМ 2. РАЗДЕЛ VI-1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЕКТА	1921-ДОП-Т2
1.2.1	Часть 1. ЭНЕРГОВОДОСБРОСНЫЕ СООРУЖЕНИЯ, ОБЪЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА И ВЫДАЧИ МОЩНОСТИ (КОМПЛЕКС 1)	1921-ДОП-Т2.1
1.2.2	Часть 2. ПЛОТИНА ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА (RCC) С ДОННЫМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ВОДОСБРОСАМИ (КОМПЛЕКС 2)	1921-ДОП-Т2.2
1.3.	ТОМ 3. РАЗДЕЛ VI-2. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ ПРОЕКТА. СОЦИАЛЬНЫЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТА РАЗДЕЛ VII. ОСНОВНЫЕ РИСКИ ПРОЕКТА	1921-ДОП-Т3
2.	РАЗДЕЛ VIII. ПРИЛОЖЕНИЯ	
2.1.	ПРИЛОЖЕНИЯ К ТОМУ 1. Сметно-финансовая документация:	
2.1.1	Расчет стартовой стоимости в текущих ценах. Сводные расчеты стоимости Книга 1	1921-ДОП-Т4.1
2.1.2	Стартовая стоимость строительства, сводные ресурсная смета и ведомость объемов работ Книга 2	1921-ДОП-Т4.2
2.1.3	Объектные стоимости, ресурсные сметы, ЛРВ и ведомости объемов работ Книга 3...8	1921-ДОП-Т4.8
2.2.	ПРИЛОЖЕНИЯ К ТОМУ 2. Графические материалы:	
2.2.1.	Папка 1. Генплан. Конструкции сооружений Комплекса 1	1921-ДОП-П1
2.2.2.	Папка 2. Плотина из укатанного бетона (RCC). Комплекс 2	1921-ДОП-П2
2.2.3.	Папка 3. Организация строительства. Автодороги. НВК	1921-ДОП-П3
2.3.	ПРИЛОЖЕНИЯ К ТОМУ 3: Исходные данные для расчетов. Бухгалтерская отчетность. Контрактная документация	1921-ДОП-Т3.1

СОДЕРЖАНИЕ ТОМА 2. ЧАСТЬ 2. ПЛОТИНА RCC

№	Наименование разделов и глав	Стр.
I.	ВВЕДЕНИЕ	12
1.1.	Общие сведения.....	12
1.2.	Альтернатива плотины из укатанного бетона (RCC).....	17
2.	СЕЙСМОТЕКТОНИКА И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ	22
2.1.	Введение.....	22
2.2.	Структурная геология исследуемой территории.....	26
2.3.	Оценка опасности разрыва.....	36
2.4.	Оценка сейсмической опасности.....	37
2.4.1.	Сейсмотектоническая модель.....	37
2.4.2.	Площадные источники.....	38
2.4.3.	Источники разломов.....	41
2.4.4.	Модель движения грунта (отношение затухания).....	41
2.4.5.	Рекомендуемые проектные параметры – значения PGA.....	44
2.5.	Выводы.....	44
3.	ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ.....	45
3.1.	Введение.....	45
3.2.	Геологические условия площадки плотины.....	45
3.2.1.	Геологическое / стратиграфическое зонирование.....	47
3.2.2.	Латеральный переход литологии.....	51
3.2.3.	Геотехнические исследования.....	51
3.2.4.	Характеристика трещиноватости.....	54
3.2.5.	Геофизические исследования.....	55
3.3.	Выводы и рекомендации.....	57
3.3.1.	Основные выводы.....	57
3.3.2.	Рекомендации.....	58
4.	ОЦЕНКА МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД.....	60
4.1.	Введение.....	60
4.2.	Анализ результатов лабораторных испытаний.....	60
4.2.1.	Бурение и извлечение керна из скважин.....	60
4.2.2.	Прочность на одноосное сжатие.....	60
4.3.	Результаты натурных штамповых испытаний.....	63
4.4.	Результаты геофизических исследований.....	66
4.5.	Характеристика горного массива методом GSI.....	66
4.5.1.	Оценка значений GSI для неогеновых пород Пскема.....	66
4.5.2.	Оценка модуля деформации.....	69
4.6.	Испытание на сдвиг.....	71
4.7.	Выводы и рекомендации.....	71
5.	ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОТИНЫ И ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЙ	75
5.1.	Введение.....	75
5.2.	Исследования вариантов генплана.....	76
5.2.1.	Основные условия.....	76
5.2.2.	Варианты генерального плана.....	78

5.2.3	Вывод по генплану.....	87
5.3.	Проектирование плотины из укатанного бетона (RCC).....	87
5.3.1.	Геометрическое проектирование поперечного сечения плотины.....	87
5.3.2	Анализ устойчивости сечения плотины.....	90
5.3.3	Численный анализ чувствительности.....	93
5.3.4	Меры по укреплению плотины.....	99
5.4	Проектирование водосбросных сооружений.....	100
5.4.1	Автоматический водосброс на гребне плотины.....	100
5.4.2	Донный водовыпуск.....	101
5.4.3	Отводящий канал водосбросов.....	101
5.5	Проектирование гидромеханического оборудования.....	102
6.	ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА.....	103
6.1	Общие сведения об укатанном бетоне RCC.....	103
6.2	Технические указания к материалам.....	104
6.3	Подготовительные работы перед бетонированием RCC.....	106
6.4	Подбор рецептуры бетонной смеси.....	108
6.5	Технология укладки укатанного бетона RCC и программа производства работ	109
6.6	Производство укатанного бетона, транспортировка и укладка.....	111
6.7	Производство бетона. Бетонный завод.....	113
6.8	Контроль за температурным режимом бетонной смеси.....	113
6.9	Ледогенераторы и чиллеры.....	117
6.10	Оборудование для производства заполнителей бетона.....	118
6.11	Транспортировка бетона.....	124
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Ведомость объемов работ	130
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Гидромеханическое оборудование. Специальная техническая спецификация	142
1.	Область применения.....	143
2.	Объект и границы поставки.....	144
3.	Ремонтный затвор донного водосброса.....	145
4.	Затворы донного водовыпуска.....	153
5.	Стальная облицовка.....	166
6.	Кран мостовой для камеры донного водовыпуска.....	173
7.	Система заземления.....	181
8.	Система измерения уровня воды и комплект дифференциального давления	183

ПЕРЕЧЕНЬ ТАБЛИЦ

Таблица 1.1- Ключевые характеристики проекта по исходной и скорректированной схемам....	12
Таблица 1.2 - План исследований: этапы, основные задачи и сроки выполнения.....	17
Таблица 1.3 - Перечень подготовленных и рассмотренных документов	18
Таблица 1.4 - Организационная структура технической комиссии (по оценке целесообразности альтернативного варианта RCC-плотины.....	21
Таблица 2.1 Параметры сейсмичности для моделирования сейсмогенных зон (по данным Ибрагимова и др., 2020)	40
Таблица 2.2 - Параметры сейсмичности для моделирования площадных источников (Ибрагимова и др., 2020).....	41
Таблица 2.3 - Наиболее значимые активные и потенциально активные разломы в радиусе 150 км вокруг площадки плотины	42
Таблица 2.4 - Рекомендуемые значения PGA для проектных землетрясений на площадке Пскемской плотины	44
Таблица 3.1 - Сводка результатов геофизических исследований.....	56
Таблица 4.1 -Средние значения для UCSn и UCSsat, распределенные по четырем единицам ИГЭ-4–ИГЭ-7	61
Таблица 4.2 - Коэффициент модуля породы ($MR = E_i / UCS_{sat}$) для кластических осадочных пород (Хук и Дидерихс, 2006).....	63
Таблица 4.3 - Интерпретация штамповых испытаний на открытом воздухе - Модули деформации в насыщенном горном массиве	65
Таблица 4.4 - Интерпретация штамповых испытаний в галерее - Модули деформации в насыщенном горном массиве.....	65
Таблица 4.5 - Сводка результатов геофизических исследований на левом и правом устоях плотины	66
Таблица 4.6 - Кластические осадочные породы, которые могут характеризовать горный массив в основании плотины.....	67
Таблица 4.7 - Модуль деформации породных единиц N0–N4 на основе метода GSI (естественная влажность)	70
Таблица 4.8 - Модуль деформации породных единиц N0–N4 на основе метода GSI (насыщенные условия).....	70
Таблица 4.9 - Сводные результаты оценки модуля упругости и деформации горного массива (в МПа).....	73
Таблица 5.1 - Оценка производительности основания на основе отношения E_s/E_{rm}	75
Таблица 5.2 - Основные данные, использованные для анализа устойчивости сечения плотины.....	91
Таблица 5.3 - Результаты анализа устойчивости.....	92
Таблица 5.4 - Сводные результаты численного анализа чувствительности для модуля деформации основания.....	93
Table 6.4.1 - Испытание прочности на сжатие.....	108
Table 6.5.1 - Среднемесячная температура окружающего воздуха в районе строительства Пскемской плотины и ГЭС.....	111
Table 6.5.2 - Среднемесячная температура воды (°C) р. Пскем за период 1964-2015 гг.....	111
Table 6.8.1. - Расчет теплового баланса свежего бетона в июле месяце (22,0 °C) с учетом добавления льда и охлажденной воды.....	115
Table 6.8.2. - Расчет теплового баланса свежего бетона в августе месяце (22,0 °C) без добавления льда и охлажденной воды.....	116
Table 6.10.1. - Объемы бетонных работ по плотине Пскемской ГЭС.....	118
Table 6.11. - Основное и вспомогательное оборудование для строительства Пскемской плотины.....	128
Table 6.12. - Перечень строительной техники для укладки (укатки) бетона Пскемской плотины.....	129

ПЕРЕЧЕНЬ ИЛЛЮСТРАЦИЙ

Рисунок 1.1- Генеральный план площадки Пскемской ГЭС (Google Earth).....	15
Рисунок 1.2. Обозначения элементов на площадке Пскемской ГЭС.....	16
Рисунок 2.1- Цифровая модель рельефа (SRTM) Кыргызстана и приграничных территорий....	23
Рисунок 2.2- Современная структурная карта района исследований и активные разломы (по Ибрагимовой и др., 2002).....	24
Рисунок 2.3- Карта эпицентров исторических и инструментальных землетрясений с энергетическим классом $K = 9-17$ ($M = 2.5-7.5$) в районе исследований, показывающая активные разломы коры и зоны с высокой концентрацией сильных землетрясений.....	25
Рисунок 2.4 - Фрагмент геологической карты листа К-42-XXXIII.....	28
Рисунок 2.5 - Карта разломов, построенная на основе анализа ЦМР (цифровой модели рельефа) и интерпретации спутниковых снимков. Складчатые структуры и наиболее значимые разломы вблизи створа плотины обозначены на карте. Зелёные, синие и красные линии соответствуют антиклиналям, синклиналям и разломам соответственно.....	30
Рисунок 2.6- Плотина с нижнего бьефа (вид на северо-восток). (Площадка плотины расположена на неогеновых отложениях).....	31
Рисунок 2.7- Упрощённая карта разломов. Основными разломами в районе створа плотины являются Угамский (Каржанту) надвиг с падением на северо-запад и Пскемский надвиг с падением на юго-восток.....	31
Рисунок 2.8 - Структурная геология створа Пскемской плотины. Поперечный разрез по оси плотины (линия разреза показана на Рисунке 7).....	32
Рисунок 2.9 - Вид на Угамский разлом. Верхнее изображение: Долина Тепар выше створа плотины (вид на юго-запад). Нижнее изображение: Правый берег ниже створа плотины (вид на юго-запад).....	33
Рисунок 2.10 - Вид на Пскемский разлом выше створа плотины, противоположный берег долины Тепар. (Верхнее изображение: вид на юг; Нижнее изображение: вид на северо-восток).....	35
Рисунок 2.11 - Структурные модели "Pop-up/Pop-down" (справа) и "Горст/Грабен" (слева). Пскемская плотина расположена в структуре типа "Pop-down".....	35
Рисунок 2.12 - Модель сейсмогенных зон для оценки сейсмической опасности в районе плотины (по данным Ибрагимова и др., 2020). Кругом обозначена зона радиусом 200 км вокруг створа Пскемской плотины.....	39
Рисунок 2.13 - Модель площадных источников сейсмичности для оценки сейсмической опасности (по данным Ибрагимовой и др., 2020). Кругом обозначена зона радиусом 200 км вокруг створа плотины.....	39
Рисунок 2.14- Сеймотектоническая карта в радиусе 200 км от створов Чаткальской и Пскемской плотин.....	43
Рисунок 3.1- Геологическая карта района плотины (получена на основе технико-экономических обоснований).....	46
Рисунок 3.2- Резкий контакт между единицами N2 и N3 на правом устое плотины из укатанного бетона.....	47
Рисунок 3.3- Геологический профиль вдоль оси плотины из укатанного бетона, показывающий единицы N0 - N4.....	49
Рисунок 3.4- Карта коренных пород района плотины (синие пунктирные линии иллюстрируют контур коренных пород в области, покрытой делювием).....	50
Рисунок 3.5- Геологический план уровня, показывающий латеральное преобразование различных типов пород.....	51

Рисунок 3.6- Однотрубная керновая колонка, использованная при бурении в Пскеме (справа), и стандартная двухтрубная керновая колонка, обычно рекомендуемая для бурения в горных массивах (слева).....	52
Рисунок 3.7- Керновые ящики скважин СКВ3 (справа) и СКВ13 (слева), отражающие очень низкое качество извлечения керна.....	52
Рисунок 3.8- Колебания уровня грунтовых вод на основе 12-месячной записи в пьезометрах № 1–3	53
Рисунок 3.9- Серия мелких нормальных разломов ниже по течению от системы отвода в неогеновой последовательности пород.....	55
Рисунок 3.10- Кривая соответствия экспериментальных данных, полученная методом регрессии (Уравнение 18) и из предыдущего исследования 491 (Уравнения 10 и 15).....	57
Рисунок 4.1- Прочность на одноосное сжатие как функция пористости для неповрежденной образцов породы.....	62
Рисунок 4.2- Иллюстрация четырех модулей деформации горного массива.....	64
Рисунок 4.3. Геологический индекс прочности (GSI) для слабых гетерогенных горных массивов типа «флиш».....	68
Рисунок 5.1- Генплан Варианта 1 – Встроенные напорные водоводы в теле плотины и здание станции у основания плотины + двойные туннельные водосбросы.....	80
Рисунок 5.2- Генплан Варианта 2 - Переливной водосброс на гребне вместо предложенного туннельного водосброса на левом берегу + сохранение существующей схемы силовых туннелей и машинного зала.....	82
Рисунок 5.3- Генплан Варианта 3 - Двойные туннельные водосбросы на правом устье с уменьшенной конфигурацией здания станции (2 установки вместо 4).....	84
Рисунок 5.4- Генплан Варианта 4 - Двойные туннельные водосбросы на правом берегу путем добавления новой ветви к силовому туннелю № 2 + сохранение исходной конфигурации машинного зала.....	86
Рисунок 5.5- Поперечное сечение плотины, Альтернатива 1 (сверху) и Альтернатива 2 (снизу).....	89
Рисунок 5.6- Перемещения плотины и основания (в метрах) в направлении Y (вертикальном) при $E_{gm} = 1,0$ ГПа.....	94
Рисунок 5.7- Эффективные главные напряжения (в Па) по завершении строительства плотины при $E_{gm} = 1,0$ ГПа.....	95
Рисунок 5.8- Эффективные главные напряжения (в Па) по завершении строительства плотины при $E_{gm} = 1,0$ ГПа.....	96
Рисунок 5.9- Поровые давления и главные напряжения в эксплуатационный период (собственный вес + гидростатическое давление) при $E_{gm} = 1,0$ ГПа.....	97
Рисунок 5.10- Потенциальные растягивающие напряжения и осадки основания, соответствующие различным E_{gm}	98
Рисунок 5.11- Укрепление основания плотины в случае менее благоприятных условий основания.....	99
Рисунок 5.12- Дополнительная обработка основания.....	99
Рисунок 5.13- Расширение основания плотины, особенно в нижних секциях плотины.....	100
Рисунок 6.11.1. Conveyor Belt for Transporting RCC Concrete into the Gravity Concrete Dam Body of the Lower-Chatkal.....	125
Рисунок 6.11.2. Formation of Transverse Joints by Inserting Steel Plates Using a Vibratory Device Mounted on a Backhoe Excavator (Lower-Chatkal Dam).....	127

ПЕРЕЧЕНЬ ЧЕРТЕЖЕЙ В ПАПКЕ №1921– ДОП-П2
ПАПКА 2. ПЛОТИНА ИЗ УКАТАННОГО БЕТОНА (RCC).
СООРУЖЕНИЯ КОМПЛЕКСА 2

№	Наименование	Номера чертежей
1.	Бетонная плотина RCC. Общие чертежи	1921-01-401-Д
1.1	План сооружений Комплекса 2. Перечень нормативно-технических документов при производстве СМР	лист 1
1.2	Технические указания для обычного виброуплотненного (CVC) и укатанного (RCC) бетона	лист 2
1.3	Общие указания по бетонированию, привязке, соединению и загибу арматурных стержней	лист 3
1.4	Типовые узлы армирования. Типовые узлы межблочных швов	лист 4
1.5	Типовые узлы деформационных швов и швов с установкой гидрошпонок	лист 5
2.	Бетонная плотина RCC. Геология участка плотины	1921-03-402-Д
2.1	Региональная геологическая карта	лист 1
2.2	Структурная геология на участке строительства бетонной плотины. Разрез вдоль оси плотины	лист 2
2.3	Геологическая карта участка плотины	лист 3
2.4	Карта изолиний скальных пород	лист 4
2.5	Геологический разрез по оси плотины	лист 5
2.6	Цементационная завеса. Профиль и спецификации	лист 6
3.	Бетонная плотина RCC. Подготовка основания	1921-10-403-Д
3.1	Обработка ослабленных зон: пустот, слабых слоев и зон разломов	лист 1
3.2	Типичные меры укрепления (для относительно слабого основания)	лист 2
3.3	Типичные меры по стабилизации (повышению устойчивости) откосов	лист 3
4.	Бетонная плотина RCC. Тело плотины	1921-10-404-Д
4.1	Общий план земляных работ	лист 1
4.2	Общий план	лист 2
4.3	Общий продольный профиль	лист 3
4.4	План. Геометрические параметры плотины	лист 4
4.5	Геометрические параметры плотины. Типовые сечения и профиль со стороны верхнего бьефа	лист 5
4.6	Геометрические характеристики плотины. Галереи в плотине и основании	лист 6
4.7	Контрольно-измерительная аппаратура в плотине и основании	лист 7

5.	Бетонная плотина RCC. Донный водовыпуск	1921-11-405-Д
5.1	Общий план и разрез по водовыпуску. Гидромеханическое оборудование	лист 1
5.2	Входной затвор. Продольный разрез. Планы	лист 2
5.3	Входной затвор. Пазы затвора. Детали	лист 3
5.4	Входной затвор. Площадка управления с гребня плотины. План и продольный разрез	лист 4
5.5	Камера аварийного и рабочего затворов	лист 5
6.	Бетонная плотина RCC. Поверхностный водосброс и отводящий канал	1921-11-406
6.1	Генплан	лист 1
6.2	Ступенчатый переливной водосброс. Геометрические параметры и сечения	лист 2
6.3	Отводящий канал. План и геометрические детали	лист 3
6.4	Отводящий канал. Сечения	лист 4

ПЕРЕЧЕНЬ ЧЕРТЕЖЕЙ В ПАПКЕ №1921– ДОП-ПЗ
ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ. НВК

№	Наименование	Номера чертежей
1.	ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА	
1.1.	Организация строительства. Схематический обзорный план строительства. Транспортная схема	1921-27-409-Д лист 1
1.2.	Организация строительства. Стройгенплан М 1:5000. Общие данные	1921-27-410-Д лист 1
1.3.	Организация строительства. Укрупненный календарный график строительства	1921-27-411-Д лист 1
	Производство земляных работ	
1.4	Входные оголовки и площадки узлов туннелей. Схема разработки котлованов	1921-27-205 лист 1
1.5	Входные оголовки и площадки узлов туннелей. Схема выполнения бетонных работ. План М1:2000. Разрезы. Ведомость объемов работ	1921-27-212 лист 1
2.	ОТВОД ЗЕМЕЛЬ. ОСНОВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ. СТРОЙПЛОЩАДКА. ЗОНА ВОДОХРАНИЛИЩА	
2.1	План границ площадей, подлежащих изъятию дополнительно. М1:10000. Экспликация	1921-27-218-Д лист 1
3.	АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДОРОГИ И СООРУЖЕНИЯ НА НИХ	
3.1	Эксплуатационные и строительные дороги и мосты. Комплекс 1. План М 1:5000. Общие данные	1921-16-412-Д лист 1
3.2	Эксплуатационные и строительные дороги и мосты. Комплекс 2. План М 1:5000. Общие данные	1921-16-413-Д лист 1

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Общие сведения

Река Пскем, с площадью водосбора около 2 810 км², образуется при слиянии рек Ойгаинг и Майдантал. Это второй по величине водосборный бассейн реки Чирчик. Пскемская ГЭС расположена в среднем течении реки Пскем в Бостанлыкском районе Ташкентской области, примерно в 120 км к северо-востоку от Ташкента и в 50 км от существующей Чарвакской ГЭС. Основные цели проекта – выработка электроэнергии и орошение.

В технико-экономических обоснованиях (ТЭО) проекта предусматривалось строительство каменно-набросной плотины с бетонным экраном (CFRD) высотой 195 м с отметкой гребня 1170 м над уровнем моря (2020-2021 гг.). Однако в ходе строительства геологические изыскания и детальное проектирование выявили технические и строительные сложности, особенно в верхних частях основания, что создавало потенциальные риски для безопасности и надежности сооружения.

Для обеспечения надежности плотины было принято решение уменьшить ее высоту на 70 м, снизив отметку гребня до 1100 м над уровнем моря. В результате в 2024 году была выполнена корректировка ТЭО с сохранением исходной схемы и компоновки основных элементов проекта.

Генплан Пскемской ГЭС на основе пересмотренных ТЭО и ключевые элементы проекта представлены на рисунках 1.1 и 1.2. Основные характеристики проекта по исходной и скорректированной схемам приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1- Ключевые характеристики проекта по исходной и скорректированной схемам

Субъект	Пункт	Описание	Единица	Кол-во	
				Исходный	Пересмотренный
Местоположение проекта	Бостанлыкский район, Ташкентская область Узбекистан	Широта	°	N 41° 49' 36"	
		Долгота	°	E 70° 16' 17"	
		Координата X (местная)	м	5794.5	
		Координата Y (местная)	м	33296.5	
		Координата X (UTM)	м	605694.5	
		Координата Y (UTM)	м	4631396.5	
Метеорология	Площадка проекта	Среднегодовое количество осадков	мм	865	
		Среднегодовое испарение	мм	933	
		Среднемесячная макс/мин температура воздуха	°C	22.0 / -3.2	
		Среднегодовая температура воздуха	°C	9.5	
		Средняя относительная влажность	%	55	
		Морозные дни в году (мин./ав./макс.)	Дни	91 / 119 / 143	
		Средняя скорость ветра зимой/летом/годом	м/с	0.7 / 2.3 / 1.3	
Гидрология	Речной сток	Водосборная площадь (выше створа плотины)	км ²	2810	
		Длина реки (выше створа плотины)	км	73	
		Среднегодовой расход/сток	м ³ /с	69.4 (2190 млн.м ³)	
		Максимальный годовой расход/сток	м ³ /с	131.0 (4134 млн.м ³)	

Субъект	Пункт	Описание	Единица	Кол-во	
				Исходный	Пересмотренный
		Минимальный годовой расход/сток	м³/с	43.0 (1357 млн.м³)	
	Паводки	Расход 10% обеспеченности (10-летний)	м³/с	373	
		Расход 5% обеспеченности (20-летний)	м³/с	417	
		Расход 1% обеспеченности (100-летний)	м³/с	518	
		Расход 0.1% обеспеченности (1000-летний)	м³/с	673	
		Расход 0.01% обеспеченности (10000-летний)	м³/с	1003	
	Водохранилище	Нормальный подпорный уровень (НПУ)	м над ур.м.	1166.0	1096.0
		Уровень энергетической сработки (УЭС)	м над ур.м.	1073.0	1073.0
		Форсированный подпорный уровень (ФПУ) (для паводка 0.01% обеспеченности)	м над ур.м.	1168.0	1098.0
		Площадь водохранилища (при НПУ)	км²	8.75	3.07
		Объем водохранилища (при НПУ)	млн.м³	511.2	122.4
	Наносы	Взвешенные наносы	Т	466,000	
		Влекомые наносы	Т	94,000	
		Суммарные наносы	Т	560,000	
		Объем наносов	м³	450,000	
Нижний бьеф	Уровни нижнего бьефа	Нормальный уровень (Q = 252 м³/с)	м над ур.м.	979.10	
		Минимальный уровень (Q = 25 м³/с)	м над ур.м.	977.35	
		Уровень при работе 1 агрегата (Q = 65 м³/с)	м над ур.м.	977.76	
		Уровень при паводке 0,01% обеспеченности (10000-летний)	м над ур.м.	982.13	
Сейсмичность	Средние спектральные ускорения	OBE (145-летняя повторяемость): Горизонтальное / Вертикальное ускорение	g	0.19 / 0.13	
		MDE (2475-летняя повторяемость): Горизонтальное / Вертикальное ускорение	g	0.42 / 0.28	
		SEE (MCE - максимальное расчетное землетрясение) Горизонтальное / Вертикальное ускорение	g	0.57 / 0.38	
Тело плотины	Основные характеристики	Тип плотины		каменно-набросная с ж/бетонным экраном (CFRD)	каменно-набросная с ж/бетонным и геокомпозитным экраном (CFRD)
		Максимальная высота	м	195	125.0
		Отметка гребня	м над ур.м.	1170.0	1100.0

Субъект	Пункт	Описание	Единица	Кол-во	
				Исходный	Пересмотренный
		Отметка верха парапета	<i>м над ур.м.</i>	1171.2	1101.2
		Отметка подошвы фундамента	<i>м над ур.м.</i>	975.0	975.0
		Длина гребня	<i>м</i>	1000.0	850.0
		Толщина гребня	<i>м</i>	12.0	12.0
		Толщина основания	<i>м</i>	598.0	378.0
Водопропускная система	Отводящий тоннель	Расположение тоннеля		Правый берег	
		Диаметр / длина тоннеля	<i>м</i>	6.50 / 1288	
	Верхняя перемычка	Отметка гребня верхней перемычки	<i>м над ур.м.</i>	1044.50	
	Нижняя перемычка	Отметка гребня нижней перемычки	<i>м над ур.м.</i>	1000.00	
Донный водосброс	Донный водосброс	Тип/расположение		Тоннельный / левый берег	
		Диаметр/длина	<i>м</i>	3.5 / 1286	
Здание ГЭС	Здание ГЭС	Количество агрегатов		4	4
		Суммарная установленная мощность	<i>МВт</i>	400	248
		Среднегодовая выработка	<i>ГВт*ч</i>	946,1	585,3
		Отметка оси турбин	<i>м над ур.м.</i>	973.1	973.1
		Максимальный напор	<i>м</i>	190	120
		Расчетный напор	<i>м</i>	183	107
		Минимальный напор	<i>м</i>	95	90

Рисунок 1.1- Генеральный план площадки Пскемской ГЭС (Google Earth)

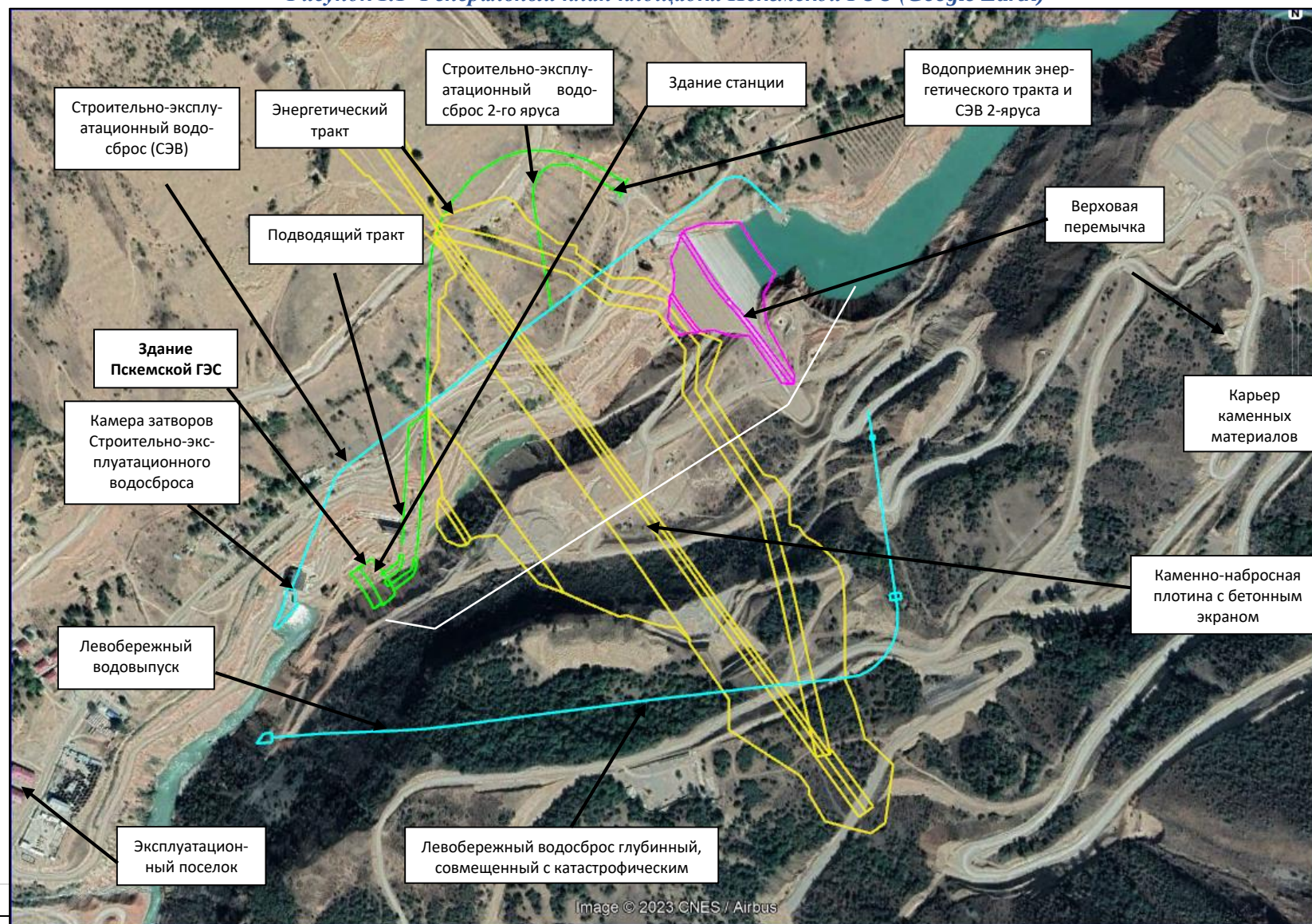
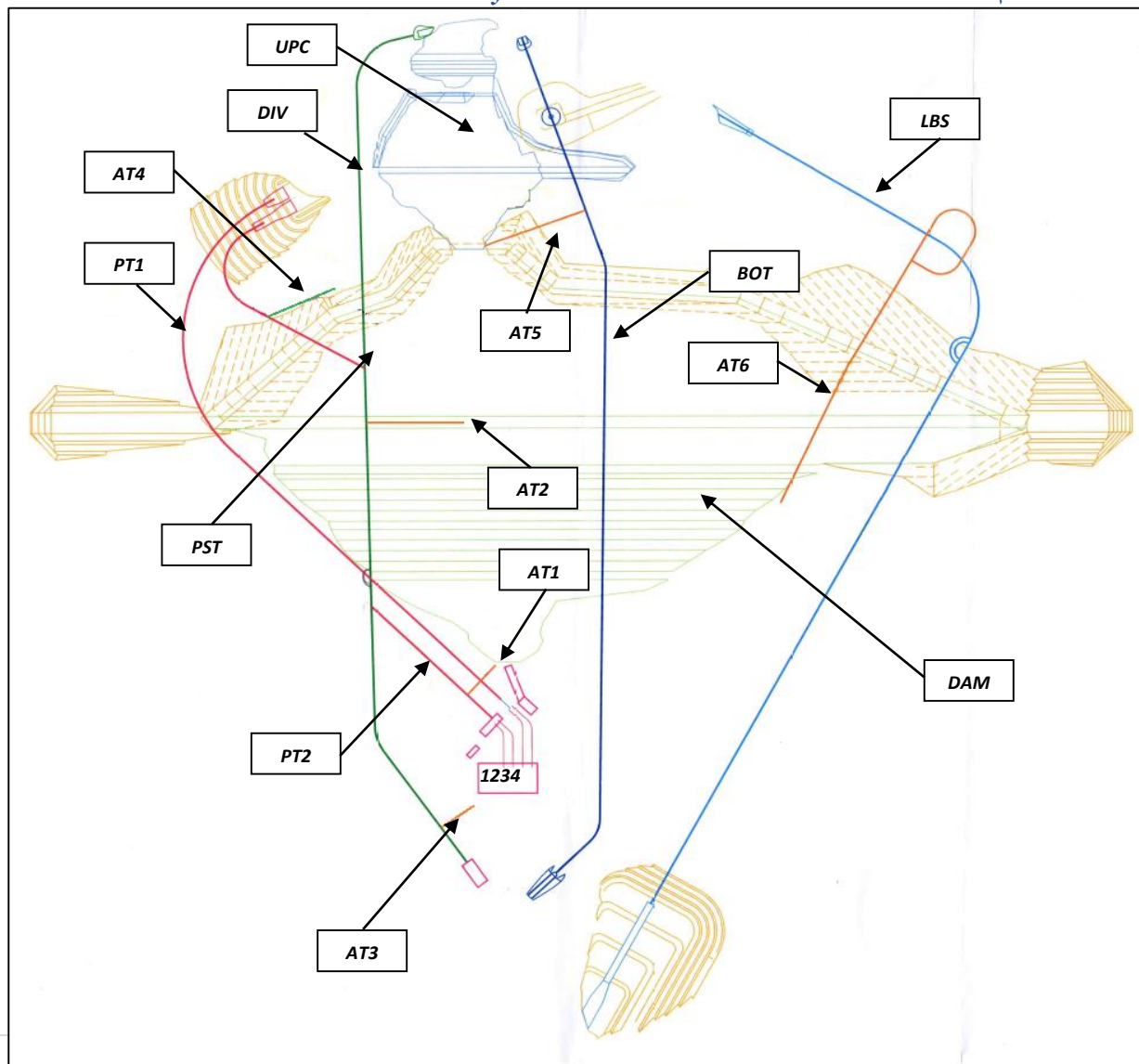


Рисунок 1.2. Обозначения элементов на площадке Пскемской ГЭС



Условные обозначения

1234 – Гидроагрегаты 1, 2, 3 и 4

AT1 – Подходная штольня П-1

AT2 – Подходной штольня П-2

AT3 – Подходная штольня П-3

AT4 – Подходная штольня П-4

AT5 – Подходная штольня П-5

AT6 – Подходная штольня П-6

BOT – Левобережный водовыпуск

DAM – Каменно-набросная плотина
с бетонным экраном

DIV – Строительно-эксплуатацион-
ный водосброс I-яруса

LBS – Левобережный глубинный во-
досброс, совмещенный с ката-
строфическим

PST – Строительно-эксплуатацион-
ный водосброс II яруса

PT1 – Энергетический тракт ГА-3,
ГА-4

PT2 – Подводящий тракт ГА-1, ГА-2

UPC – Верховая перемычка

1.2. Альтернатива плотины из укатанного бетона (RCC)

По поручению Заказчика после разработки Технико-экономического обоснования (ТЭО) проекта с вариантом каменно-набросной плотины с железобетонным экраном (CFRD) высотой 125 м рассматривается возможность строительства плотины из укатанного бетона (RCC) в качестве альтернативы, которая может принести значительные преимущества проекту.

Была поставлена задача изучить и тщательно оценить техническую осуществимость строительства гравитационной плотины из укатанного бетона RCC на участке створа.

С этой целью текущие исследования были определены и запланированы в два основных этапа с конкретными темами и сроками, указанными в Таблице 1.2.

Таблица 1.2- План исследований: этапы, основные задачи и сроки выполнения

№	Описание задачи
1.	Этап предварительного ТЭО
<i>Основная задача: Проверка технической возможности возведения альтернативного варианта гравитационной плотины из укатанного бетона RCC</i>	
1.1.	Сбор и подготовка данных (включая перевод технических отчетов, чертежей, результатов испытаний)
1.2.	Анализ и оценка технической документации по геологии площадки, механике горных пород, проектированию плотины и методике строительства
1.3.	Подготовка предварительных вариантов проектных решений для варианта RCC-плотины
1.4.	Детальное обследование площадки отдельными экспертами, обсуждения и интерпретации
1.5.	Совместное обследование площадки всеми членами экспертной группы
1.6.	Презентация и внутренние обсуждения среди членов группы экспертов
1.7.	Представление группой экспертов выводов, заключений и рекомендаций
1.8.	Предоставление отчета
2.	Актуализация технико-экономического обоснования для альтернативного варианта гравитационной плотины из укатанного бетона RCC
<i>Основная задача: Актуализация технико-экономического обоснования (ТЭО) для альтернативного варианта RCC - плотины и подготовка отчетной документации с чертежами.</i>	
2.1.	Обновление тектонических и геологических условий площадки; подготовка репрезентативной геологической карты и разрезов
2.2.	Актуализация исследований механики горных пород; подготовка общей геотехнической зональности массива и соответствующих геомеханических параметров
2.3.	Корректировка проекта плотины и генерального плана; выполнение необходимых расчетов устойчивости и напряженного состояния
2.4.	Проверка и анализ исследований, подготовка окончательного обновленного ТЭО и чертежей

Задача 1 была выполнена посредством сбора и подготовки практически всех доступных данных и документов (перечисленных в Таблице 1.3), с участием иностранных специалистов в качестве технической ревизионной комиссии, структура которой подробно описана в Таблице 1.4.

В ходе работы Комиссии были проведены детальные обследования площадки и всесторонние обсуждения для определения ключевых параметров, влияющих на техническую осуществимость альтернативного варианта плотины из укатанного бетона RCC. На основании проведенных работ сделан общий вывод, что площадка Пскемской плотины **соответствует** требованиям для строительства предлагаемой плотины из укатанного бетона RCC. Однако сохраняются определенные вопросы, требующие дополнительных углубленных исследований при разработке базового и детального проектов.

Настоящий отчет, подготовленный в рамках **Задачи 2**, представляет основные результаты обновленных исследований технико-экономического обоснования альтернативного варианта плотины из укатанного бетона RCC. Важно отметить, что отчет фокусируется исключительно на **технических аспектах**, непосредственно связанных с проектированием RCC - плотины и сопутствующих сооружений.

Базовые исследования – такие как климатология, гидрология, планирование водных ресурсов и гидроэнергетические расчеты – не пересматриваются, так как их результаты остаются неизменными и не влияют на выбор типа плотины.

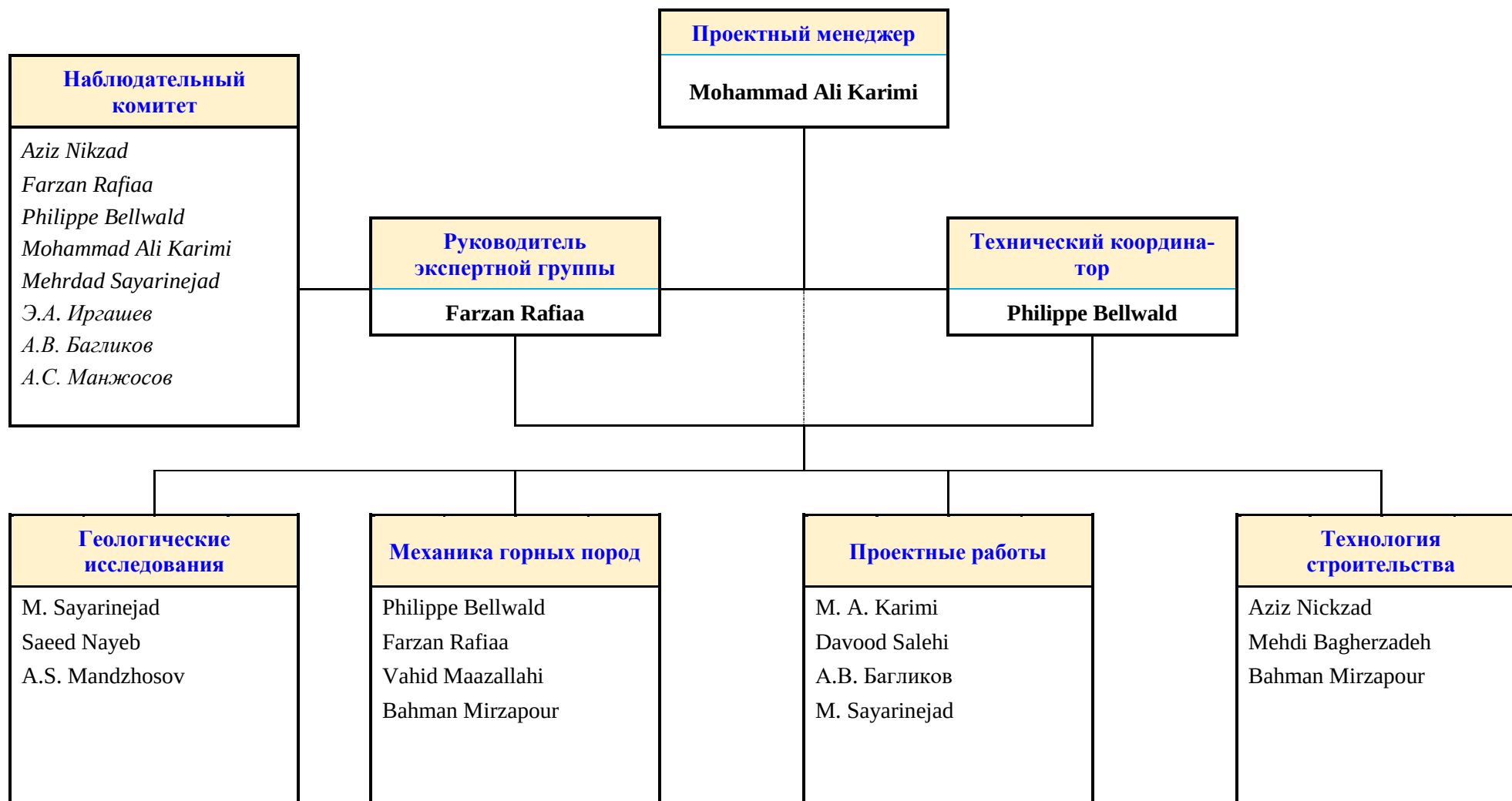
Таблица 1.3- Перечень подготовленных и рассмотренных документов

№.	Код	Название	dwg	doc	pdf	xls
1) Общие						
1.0	----	Обзор и оценка технической осуществимости альтернативного варианта плотины из укатанного бетона RCC - Задачи и организационная структура (текущий отчет)		✓	✓	✓
1.1	1921-9-101	Генеральный план, ТЭО (вариант высокой CFRD плотины)			✓	
1.2	1921-27-102	План площадки (масштаб 1:5000)	✓			
1.3	----	Топосъемка площадки Пскемской плотины (только UTM)	✓			
1.4	----	Топосъемка площадки Пскемской плотины + фотофиксация	✓			
1.5	1921-10-105	Чертежи конструкции CFRD плотины	✓			
1.6	1921-10-207	Разрез и план CFRD плотины (уменьшенная высота)	✓			
2) Организация строительства и производство работ (ПОС, ПР) + изучение каменных карьеров и резервов строительных материалов						
2.1	1921-27-101	Организация строительства	✓			
2.2	1921-03-111	Местоположение и объемы карьеров и резервов			✓	
2.3	1921-03-112	Карьер №3 – геологический разрез и характеристики			✓	
2.4	1921-03-113	Карьер №4 – геологический разрез и характеристики			✓	
2.5	1921-03-114	Карьер №5 – геологический разрез и характеристики			✓	
2.6	1921-03-115	Карьер №6 – геологический разрез и характеристики			✓	

№.	Код	Название	dwg	doc	pdf	xls
2.7	1921-03-116	Карьер №2а – геологический разрез и характеристики			✓	
2.8	1921-03-117	Карьер №2I – геологический разрез и характеристики			✓	
2.9	1921-03-118	Карьер №2P – геологический разрез и характеристики			✓	
2.10	1921-03-119	Карьер №I – геологический разрез и характеристики			✓	
2.11	1921-03-120	Карьер №7 – геологический разрез и характеристики			✓	
2.12	1921-03-121	Карьер камня N7 – геологический разрез и характеристики			✓	
2.13	1921-27-110	Карьер камня №7а	✓			
2.14	1921-27-111	Карьер суглинка №4 и гравийный карьер №2	✓			
2.15	-----	Карьер камня №7а – технический отчет по экспериментальным и лабораторным работам		✓		
3) Геологические изыскания						
3.1	2124-03-T1	Технический отчет по разведочным шурфам №4 и №5		✓	✓	
3.2	-----	Геологическое описание разведочных шурфов (англ./рус.)	✓		✓	
3.3	-----	Геологический разрез по шурфам 1-5 (англ./рус.)			✓	
3.4	2124-03-T1	Геологический разрез по оси плотины - правый берег (шурфы №4,5)	✓			
3.5	1921-03-123	Карта опасных экзогенных геологических процессов (2 листа)			✓	
3.6	Рисунок 2.2	Тектоническая схема региона (масштаб 1:200 000)	✓		✓	
3.7	Рисунок 1.5	Карта сейсмичности Ташкентского региона	✓		✓	
3.8	Рисунок 1.4	Карта эпицентров сильных землетрясений	✓		✓	
3.9	-----	Отчет по сейсмическому районированию площадки Пскемской ГЭС (рус.)		✓		
3.10	-----	Заключение о сейсмотектонических условиях площадки (рус.)		✓		
3.11	Рисунок 3.1	Стратиграфическая колонка	✓		✓	
3.12	1921-03-102	Инженерно-геологическая карта (1:200)			✓	
3.13	1921-03-103	Геологический профиль по оси плотины			✓	
3.14	1921-03-106	Геологический разрез по трассе деривационного тоннеля			✓	
3.15	1921-03-107	Геологическая съемка разведочной галереи			✓	
3.16	1921-03-108	Горизонтальные геологические разрезы на отметке 1075 м			✓	
3.17	1921-03-109	Горизонтальные геологические разрезы на отметке 1025 м	✓		✓	
3.18	1921-03-110	Горизонтальные геологические разрезы на отметке 980 м	✓		✓	
3.19	1921-03-124	Геологический журнал 32 скважин в районе здания ГЭС			✓	
3.20	1951-01-10	Геологические условия примыкания диафрагмы и русла + Приложения 2.1-2.3	✓	✓	✓	
3.21	1951-01-10 (1)	Отчет по скважине СК-1 (водоприемник) + Приложения 2.1-2.2	✓	✓	✓	
3.22	1921-03-22	Описание скважин 1-38 (рус.)	✓		✓	
3.23	Рисунок 4.1 – 4.4	Диаграммы совместных исследований	✓		✓	
3.24	-----	Отчет о геофизических исследованиях на участке Пскемской плотины	✓	✓		

№.	Код	Название	dwg	doc	pdf	xls
3.25	1934-03-P1	Геологическая съемка деривационного тоннеля (правый берег)	✓			
3.26	1934-03-P2	Геологическая съемка донного водосброса (левый берег)	✓			
3.27	1934-03-P3	Геологическая съемка тоннельного водосброса (левый берег)	✓			
3.28	1921-03-T3	Отчет по инженерно-геологическим изысканиям 2020-2023 гг.		✓	✓	
3.29	-----	Отчет по результатам бурения наклонных скважин под руслом реки		✓	✓	
3.30	-----	Заключение по геологическим и тектоническим исследованиям	✓			
4) Исследования и испытания горных пород						
4.1	-----	Характеристики грунтов для верхнего откоса		✓		
4.2	2029-3-1	Отчет о результатах лабораторных испытаний		✓	✓	
4.3	-----	Все результаты лабораторных испытаний (данные и графики)				✓
4.4	-----	Все результаты натурных испытаний механических свойств горных пород (данные и графики) – (связано с пунктом 4.5)				✓
4.5	-----	Отчет о натурных испытаниях горных пород в разведочной галерее (правый берег)		✓	✓	
4.6	19-34-T2	Отчет о натурных испытаниях горных пород на поверхности		✓	✓	✓
5) Альтернативный вариант RCC-плотины – проектные и аналитические работы						
5.1	-----	Предварительное проектирование альтернативного варианта плотины из укатанного бетона (RCC)	✓		✓	

Таблица 1.4- Организационная структура технической комиссии (по оценке целесообразности варианта плотины из укатанного бетона RCC)



2. СЕЙСМОТЕКТОНИКА И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

2.1. Введение

Территория Узбекистана характеризуется сложной тектонической структурой и высокой сейсмической активностью. Только за последние 150 лет произошло более 70 землетрясений с магнитудой $M > 5.0$. Восточная часть территории Узбекистана относится к неотектоническому эпиплатформенному орогену Западного Тянь-Шаня, а западная часть — к эпигерцинской Туранской платформе. Учитывая высокую сейсмическую активность территории Узбекистана, сейсмическая устойчивость сооружений является важным аспектом безопасности (Ребецкий и др., 2020).

Геологические структуры Западного Тянь-Шаня (Рисунок 2.1) существенно различаются по рельефу, геологическому строению и истории геологического развития. На востоке они представлены высокогорными складчатыми структурами, состоящими из палеозойских образований, а также межгорными и предгорными бассейнами, покрытыми мезозойскими и кайнозойскими отложениями. На западе эти отложения, меньшие по толщине, перекрывают обширные равнины эпипалеозойской Туранской плиты; палеозойские породы иногда выступают в виде небольших возвышенностей в пределах Кызылкума (Ребецкий и др., 2020).

В пределах Туранской плиты выделяются бассейны Амударьи, Сырдарьи и Арала. Эпиплатформенная орогенная область включает систему положительных и отрицательных структур, выраженных в рельефе в виде горных хребтов (Чаткало-Кураминский, Алай-Туркестанский, Зеравшано-Гиссарский и др.), межгорных (Ферганский, Сурхандарьинский) и предгорных (Ташкент-Голодностепский, Кашкадарьинский) бассейнов и разрывных зон разломов, разделяющих их (Рисунок 2.2). Согласно геологическим и геофизическим данным, толщина земной коры в районе исследований варьируется от 40 км на северо-западе (район Аральского моря) до 55 км (Ферганская долина).

Проект Пскемской ГЭС расположен в горах Западного Тянь-Шаня на северо-востоке Узбекистана (Рисунок 2.1). Тянь-Шань представляет собой тектонически и сейсмически активный внутриплитный горный пояс, ограниченный пустыней Кызыл-Кум на востоке и пустыней Гоби на западе, и расположенный между Казахским щитом на севере и Таримским бассейном на юге (Рисунок 2.1).

Современное сокращение земной коры в Тянь-Шане составляет ~20 мм/год, что соответствует 40% сокращения коры между Индией и Евразией, несмотря на то, что горный пояс находится более чем в 1000 км к северу от границы плит. Эта деформация обеспечивается надвигами, ориентированными в направлении восток-запад, правосторонними сдвигами с простиранием ССЗ-ЮЮВ и левосторонними сдвигами с простиранием ВСВ-ЗЮЗ. Надвиги с простираением восток-запад определяют горные хребты с таким же простираением и субпараллельные межгорные бассейны. Основной сдвиговой структурой в Северном Тянь-Шане является правосторонний сдвиг Талас-Фергана с простираением ССЗ-ЮЮВ. Он частично компенсирует сокращение в направлении север-юг в Тянь-Шане с различными скоростями конвергенции между западным и восточным Тянь-Шанем (Алинаги и Крюгер, 2014; Кэмпбелл и др., 2013).

Рисунок 2.3 показывает карту эпицентров землетрясений в исследуемом регионе, составленную на основе каталога, подготовленного в Институте сейсмологии им. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан. Каталог включает параметры исторических и инструментальных землетрясений. В региональном каталоге энергетический класс К землетрясений является основной характеристикой для их классификации по магнитуде, определяемой по сумме амплитуд Р- и S-волн, зарегистрированных короткопериодным оборудованием (Раутян, 1960; Раутян и др., 2007).

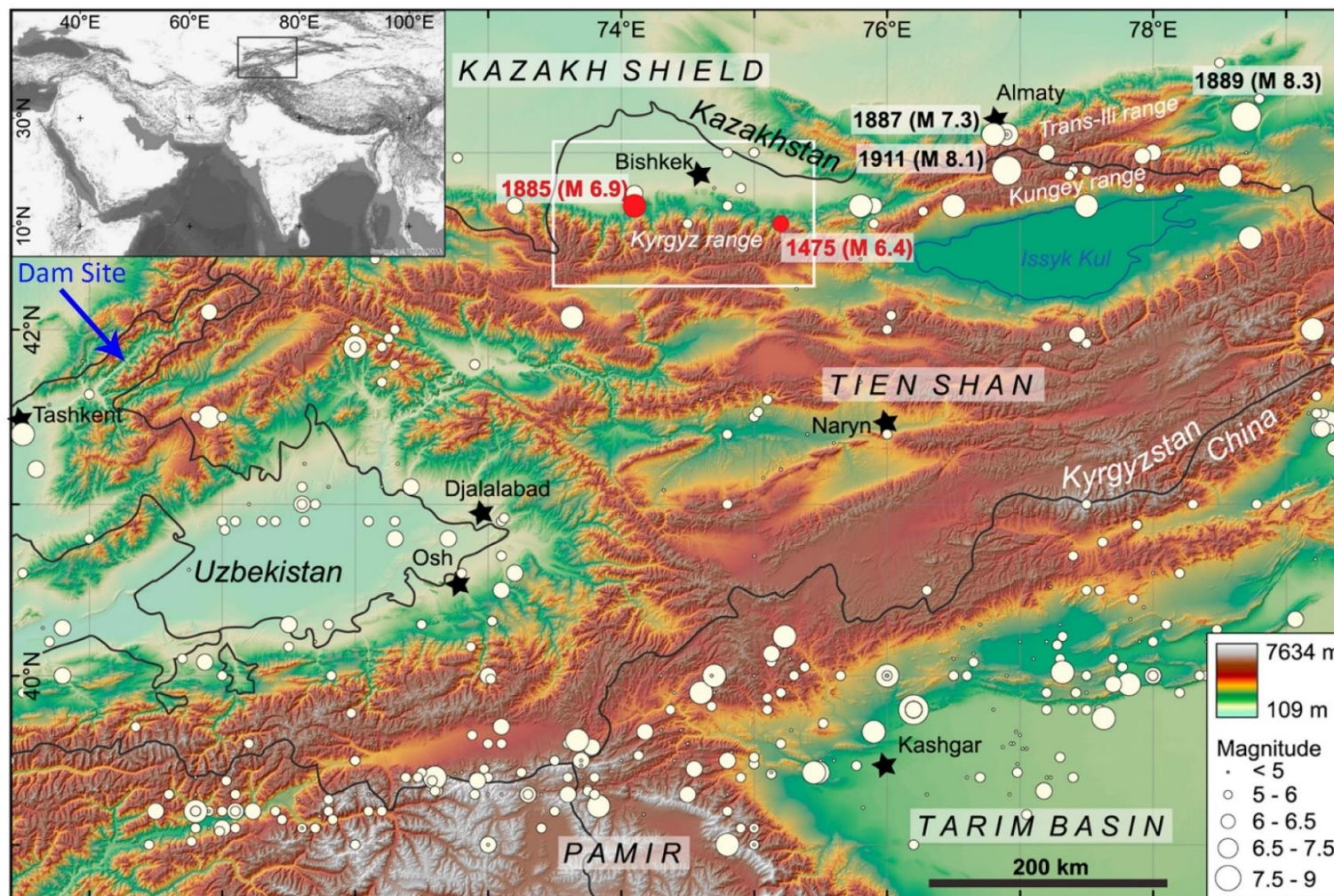


Рисунок 2.1- Цифровая модель рельефа (SRTM) Кыргызстана и приграничных территорий.

Основные географические объекты обозначены, крупные города отмечены звездами. Наложены исторические землетрясения (Калметиева и др., 2009), события с магнитудой 6 и выше помечены годом. Обратите внимание на серию сильных событий вдоль северного края Тянь-Шаня на рубеже XIX/XX веков. Исследуемые территории расположены в более широких эпицентральных зонах землетрясений, отмеченных красным. Врезка показывает положение рисунка (зашифрованная область) в азиатско-евразийском контексте (Ландграф и др., 2016).

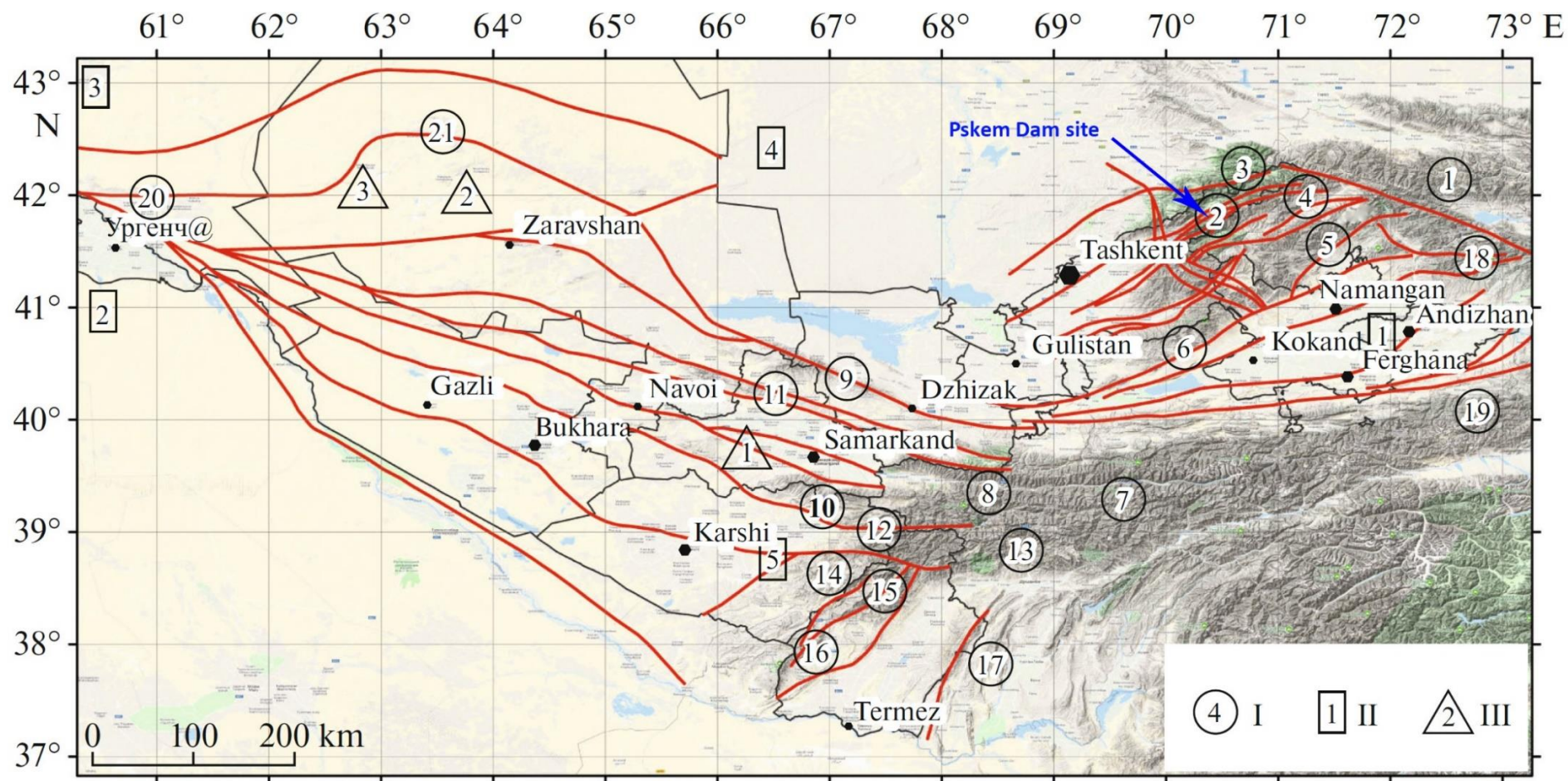


Рисунок 2.2- Современная структурная карта района исследований и активные разломы (по Ибрагимовой и др., 2002)

I. Хребты: 1. Алас; 2. Угамский; 3. Каржантау; 4. Пскемский; 5. Чаткальский; 6. Кураминский; 7. Туркестанский; 8. Малгузар; 9. Нуратинский; 10. Зирабулак-Зиаэтдинский; 11. Зеравшанский; 12. Габрынтау; 13. Гиссарский; 14. Байсунтау; 15. Сурхантау; 16. Кугитантау; 17. Бабатаг; 18. Ферганский; 19. Алайский; 20. Султануйздаг; 21. Букантау.

II. Впадины: 1., Ферганская; 2. Амударьинская; 3. Аральская; 4. Сырдарьинская; 5. Кашкадарьинская; 6. Аякагытма. III. Прогибы: 1. Зеравшанский; 2. Джамикум; 3., Мингбулакский. Линии, активные разломы (Ребецкий и др., 2020).

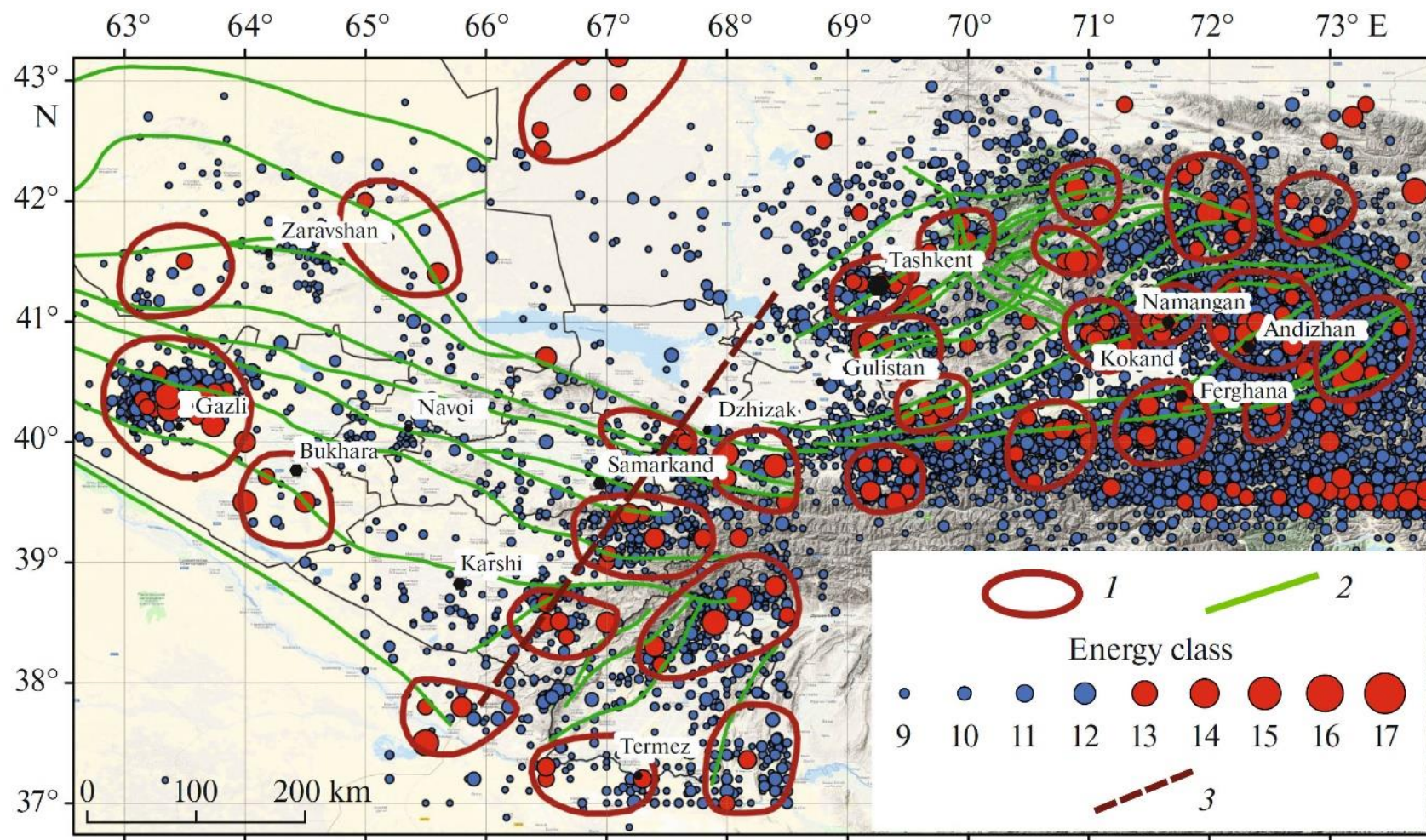


Рисунок 2.3- Карта эпицентров исторических и инструментальных землетрясений с энергетическим классом $K = 9-17$ ($M = 2.5-7.5$) в районе исследований, показывающая активные разломы коры и зоны с высокой концентрацией сильных землетрясений

(1) очаговые зоны; (2) активные разломы; (3) линеамент Западного Тянь-Шаня. Круги — эпицентры землетрясений (Ребецкий и др., 2020)..

Распределение эпицентров сильных землетрясений по региону (Рисунок 2.3) крайне неравномерно. К востоку от линеамента Западного Тянь-Шаня, который обозначает границу между горами Тянь-Шаня и равнинной территорией Туранской плиты, сейсмическая активность значительно выше. Это включает как слабые и умеренные сейсмические события, так и сильные землетрясения. Напротив, к западу от этого линеамента сейсмическая активность существенно ниже (Артыков и др., 2020). В западном Узбекистане наибольшая концентрация эпицентров сильных землетрясений наблюдается в районах Газли и Бухары. Кроме того, несколько сильных сейсмических событий были зарегистрированы в районе Центральных Кызылкумов (Ребецкий и др., 2020).

Подавляющее большинство сильных землетрясений в исследуемом регионе происходит в узких, вытянутых зонах, связанных с глубинными разломами коры. В сейсмически активных зонах уровень сильных землетрясений, зарегистрированных с исторических времен, был очень высок. Сравнение карт эпицентров землетрясений, составленных за разные временные интервалы (до 1900 года и с начала инструментального периода), показывает, что выявленные зоны с высокой концентрацией сильных землетрясений сохраняют свою конфигурацию достаточно стабильно, что указывает на наличие благоприятных условий для крупномасштабного разломообразования в поле действующих тектонических напряжений. Из-за низкой изменчивости сейсмотектонических процессов, определяющих текущее состояние напряжений в сейсмически активных структурах на протяжении десятков и сотен лет, эти интенсивные зоны дробления коры считаются наиболее вероятными областями ожидаемой сейсмической активизации в ближайшие десятилетия (Артыков и др., 2017, 2018).

2.2. Структурная геология исследуемой территории

Самые древние геологические формации, обнаженные в районе расположения плотины, относятся к девонской и каменноугольной системам палеозойской эры. Мезозойские отложения, в частности, из мелового периода, обнажены на небольшой площади в зоне водохранилища, напротив долины Тепар. Отложения палеогенового и неогенового периодов наблюдаются в основании плотины, а также в верхнем и нижнем бьефах (Рисунок 2.4). Четвертичные отложения в районе плотины состоят преимущественно из аллювиальных и коллювиальных материалов. Подробное литологическое описание этих отложений приведено ниже.

Палеозойская эратема – Pz.

Отложения палеозойской эры, которые имеют довольно широкое распространение в рассматриваемой области, представлены отложениями девонской и каменноугольной систем.

Девонская система, верхняя часть – (D3). Эти отложения, общей толщиной от 300 до 900м, представляют собой самые древние горные породы в исследуемой территории. Они обнажены выше по течению от места расположения плотины и в долине Тепар. В основании последовательности лежат лагунно-континентальные песчаники, иногда подстилаемые базальными конгломератами. Конгломераты полимиктовые, красновато-коричневые, сцементированы песчано-карбонатным материалом. Накрывающие их полимиктовые песчаники серо-коричневого цвета, от тонкослоистых до массивных по структуре. Выше этой последовательности находятся песчано-глинистые известняки и доломитовые ракушечники, чередующиеся со слоями песчаников и алевролитов. Толщина верхней части этой секции варьируется от 320 до 850 метров.

Каменноугольная система – С. Отложения каменноугольной системы включают турнейский (турне) и визейский этапы нижней и средней серий соответственно, которые подразделяются на несколько формаций.

Турнейский этап – С1t. Отложения этого этапа неоднородны по составу и включают карбонатный слой нижнего турне (С1t1) и верхнего турне (С1t2) формаций, с толщиной 1760–2500 м. Отложения С1t1 фрагментарно обнажены в верховьях долин Тепар и Такаянгат Сай. Они состоят в основании из тонко- и толстослоистых песчаных известняков серого цвета, переходящих выше по разрезу в мелкокристаллические доломиты черного цвета. Отложения С1t2 имеют более широкое распространение и представлены тонкими, средними и толстыми слоями известняков серого и темно-серого цвета с включениями и прослоями черных и светлых кремней.

Визейский этап – С1v. Породы этого этапа являются наиболее распространенными среди всех отложений палеозойской эры в районе и представлены толщей карбонатных пород нижней (С1v1), средней (С1v2) и верхней визейской (С1v3) формаций, с толщиной от 1930 до 2580 м. Отложения С1v1 представлены тонко- и среднеслоистыми известняками светло-серого цвета с включением узлов и слоев черных и светлых кремней. В центральной части разреза прослеживаются глинистые черные известняки. Толщина отложений составляет 528 м. Отложения С1v2 и С1v3 представляют собой монотонную толщу массивных и толстослоистых известняков от светло- до темно-серого цвета с толщиной 1410–2050 м.

Мезозойская эратема – Mz

Отложения мезозойской эры в исследуемой территории имеют ограниченное распространение и представлены только верхней частью меловой системы.

Меловая система, верхняя часть – К2. Представлена континентальными и прибрежными песчаниками розовато-красного цвета, алевролитами с прослоями гравийников, конгломератов, реже мергелистыми глинами. Толщина меловых отложений составляет 205–217 м.

Кайнозойская эратема – Kz

Палеогеновая система – Р. Представлена розовато-белыми брекчированными, прочными конгломератами с песчано-карбонатным цементом; красными мергелями, песчаниками и серыми гравийниками, а также тонкими светло-серыми мергелистыми известняками с включением редких мелких галек. Толщина отложений составляет 188 м.

Неогеновая система – N. Представлена в основном алевролитами с прослоями и линзами красных гравийников, песчаников, реже глин. В междуречье рек Тепар и Такаянгат и на левом берегу реки Такаянгат неогеновые отложения характеризуются коричнево-красным цветом и более мелким гранулометрическим составом. В разрезе преобладают алевролиты, песчаники, содержащие прослои гравийников и конгломератов. Толщина отложений составляет около 2000 м.

Четвертичная система. Представлена аллювиальными, делювиальными, аллювиально-пролювиальными, коллювиальными и гравитационными образованиями и подразделяется на четыре возрастных комплекса: Нанайский (Qn), Ташкентский (QIIIt), Голодностепский (QIIIgl) и Сырдарьинский (QIVsd). На исследуемой территории присутствуют отложения только верхнего четвертичного периода (Сырдарьинский и Голодностепский циклы эрозии-накопления) и современного возраста. Генетически четвертичные отложения включают аллювий и коллювий.

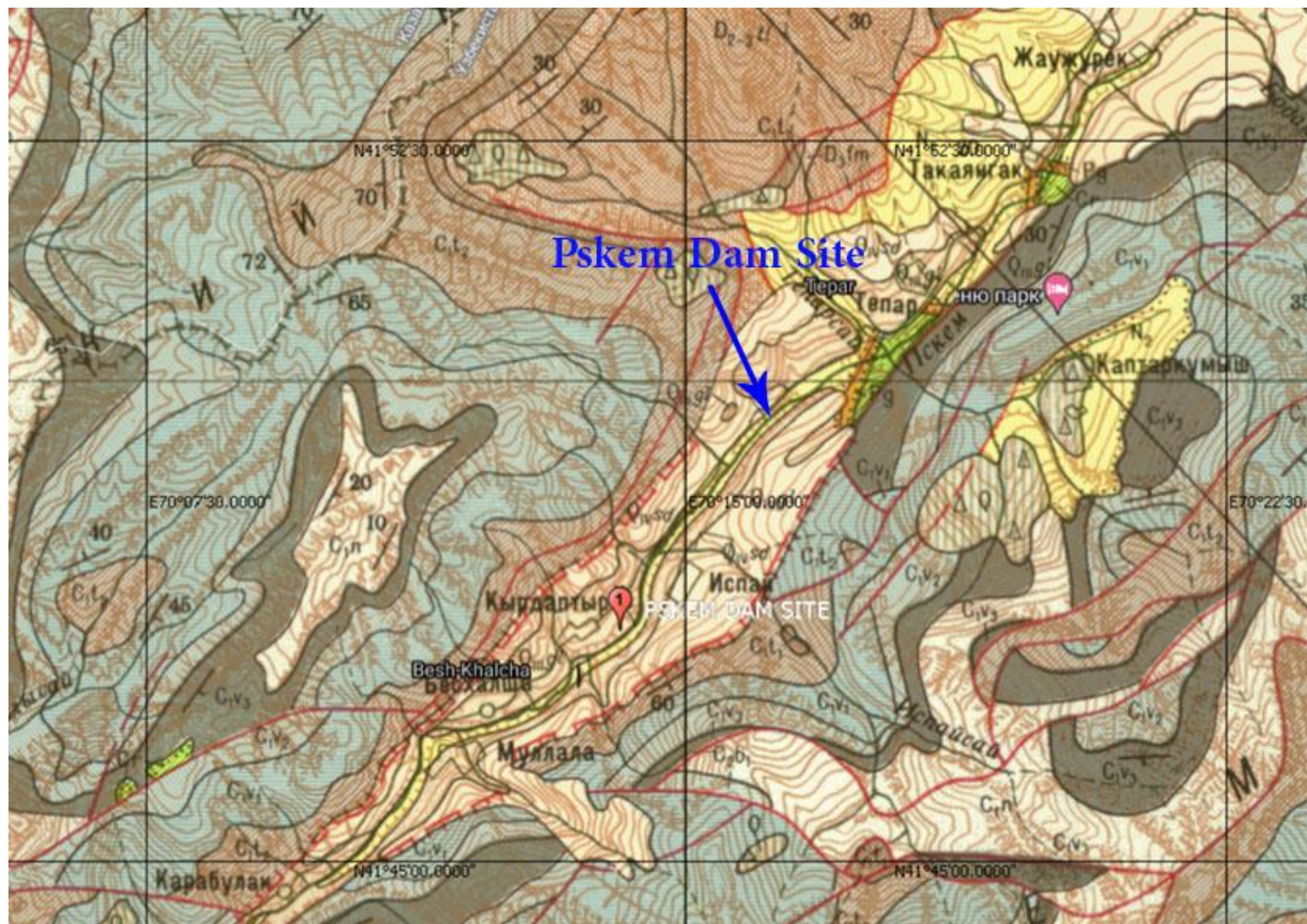


Рисунок 2.4- Фрагмент геологической карты листа К-42-XXXIII

Активные разломы

Для выделения геоморфологических признаков активного разломообразования использовались цифровые модели рельефа (DEM) и спутниковые снимки (Рисунок 2.5). Уступы разломов, смещенные русла рек и другие морфотектонические особенности были определены в результате анализа данных DEM и спутниковых снимков. Анализ линейных элементов показывает, что преобладающее структурное направление в районе площадки плотины Пскем ориентировано с северо-востока на юго-запад (СВ-ЮЗ). Все выявленные активные и потенциально активные разломы в районе проекта следуют этому направлению. Основным механизмом разломообразования вдоль этих СВ-ЮЗ трендов является обратное (надвиговое) смещение. Кроме того, геологические складчатые структуры вблизи площадки плотины в целом имеют ту же СВ-ЮЗ ориентацию, тесно связанную с направлением реки Пскем и основными системами разломов (Рисунок 2.5).

Площадка плотины Пскем расположена в открытой V-образной долине и находится на породах неогенового возраста (Рисунок 2.6). Эти породы, представленные чередующимися песчаниками, алевролитами, конгломератами, аргиллитами, мергелями и известковыми мергелями, имеют общее направление падения на северо-запад. Измерения углов падения и направления падения слоев в разных местах долины показывают небольшие различия. В целом, направление падения варьируется между 280 и 340 градусами, а угол падения составляет от 34 до 55 градусов. Крупных разломов с толстой зоной повреждения в пределах площадки плотины не обнаружено. Однако ниже по течению от электростанции на правом берегу были выявлены мелкие нормальные разломы, а в энергетическом туннеле определены и измерены серии надвиговых разломов, почти параллельных напластованию. Эти данные были использованы в анализе поля напряжений.

На спутниковых снимках и при полевых наблюдениях в районе площадки плотины можно выделить два основных разлома: Угамский (Каржантау) и Пскемский (Рисунки 2.7 и 2.8).

Угамский разлом. Угамский разлом наблюдается на более высоких отметках на правом берегу реки, примерно на высоте 1440 метров. Он обозначает зону контакта между геологическими единицами каменноугольного и неогенового возраста. Разлом простирается на длину около 100 километров, с общим направлением, параллельным реке. В ближайшей точке Угамский разлом находится примерно в 1500 метрах от русла реки. В районе площадки плотины тектоническая активность вдоль этого разлома привела к надвигу в северо-западном направлении, при котором каменноугольные известняковые единицы перекрывают неогеновые отложения.

Важно отметить, что значительное движение по разлому и связанный с этим обвал известняковых единиц всяческого крыла привели к образованию больших объемов обломочного материала, который теперь покрывает основную зону разлома. Это накопление обломков затрудняет прямое наблюдение и детальное картирование разлома на поверхности (см. Рисунок 2.9). Толщина зоны Угамского разлома в районе реки Оромзадасай составляет около 50–60 м. Угол падения плоскостей разлома варьируется от 35–50° до 60–75°. Величина смещения вдоль разлома достигает 0,5–3,0 км (Инженерно-геологические условия, Том 1. Текст отчета № 1921-03-T1).

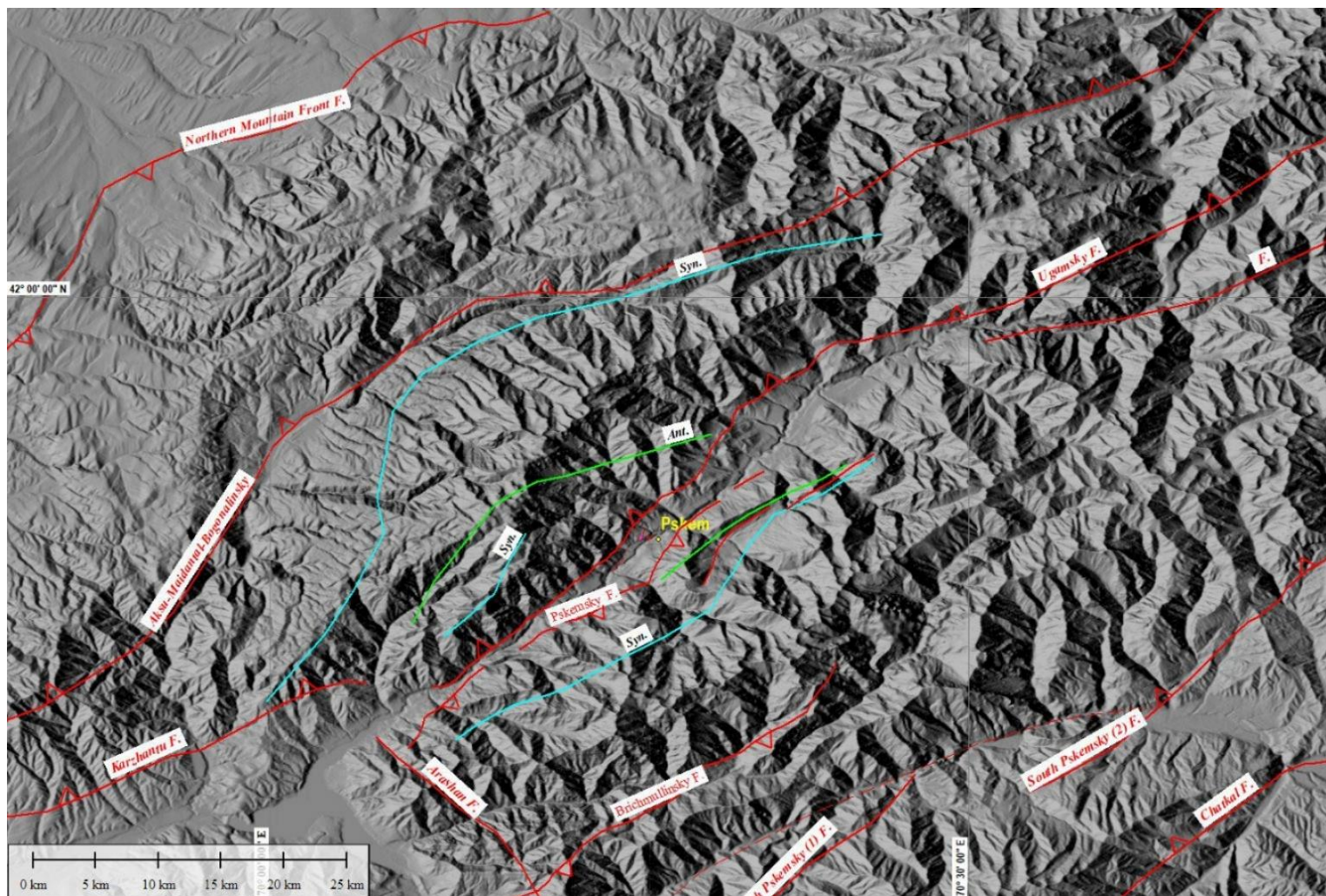


Рисунок 2.5 - Карта разломов, построенная на основе анализа ЦМР (цифровой модели рельефа) и интерпретации спутниковых снимков. Складчатые структуры и наиболее значимые разломы вблизи створа плотины обозначены на карте. Зелёные, синие и красные линии соответствуют антиклиналям, синклиналям и разломам соответственно.



Рисунок 2.6- Плотина с нижнего бьефа (вид на северо-восток). (Площадка плотины расположена на неогеновых отложениях)

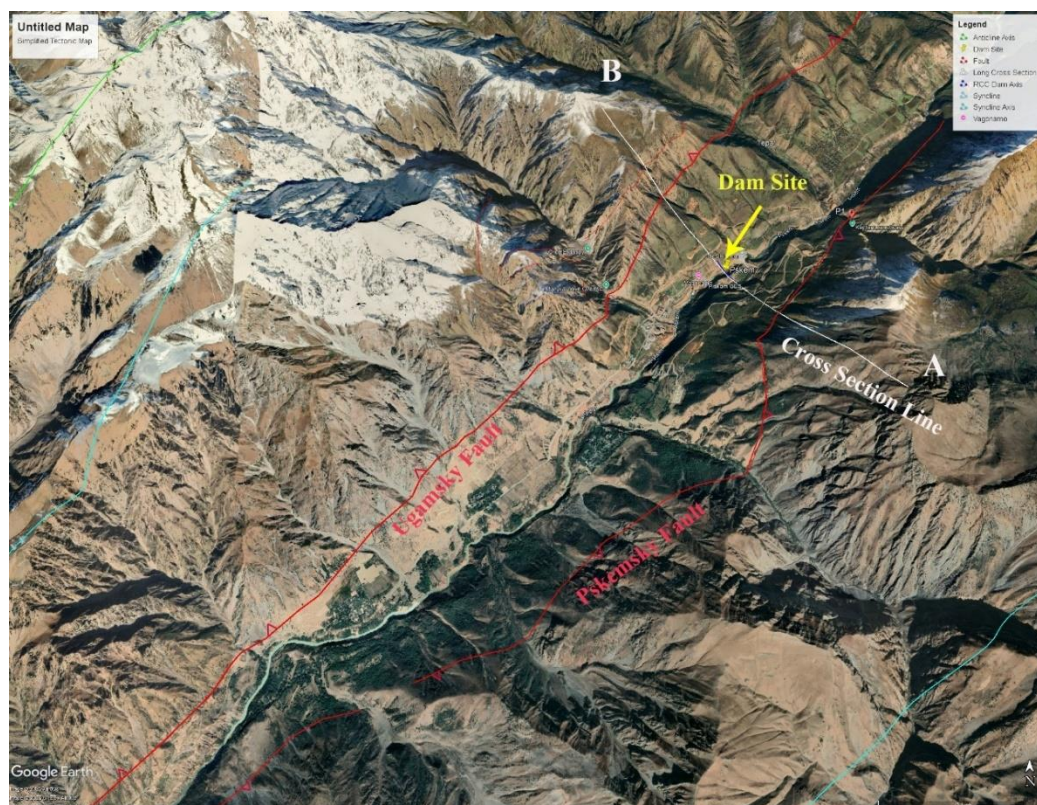


Рисунок 2.7- Упрощённая карта разломов. Основными разломами в районе створа плотины являются Угамский (Каржанту) надвиг с падением на северо-запад и Пскемский надвиг с падением на юго-восток

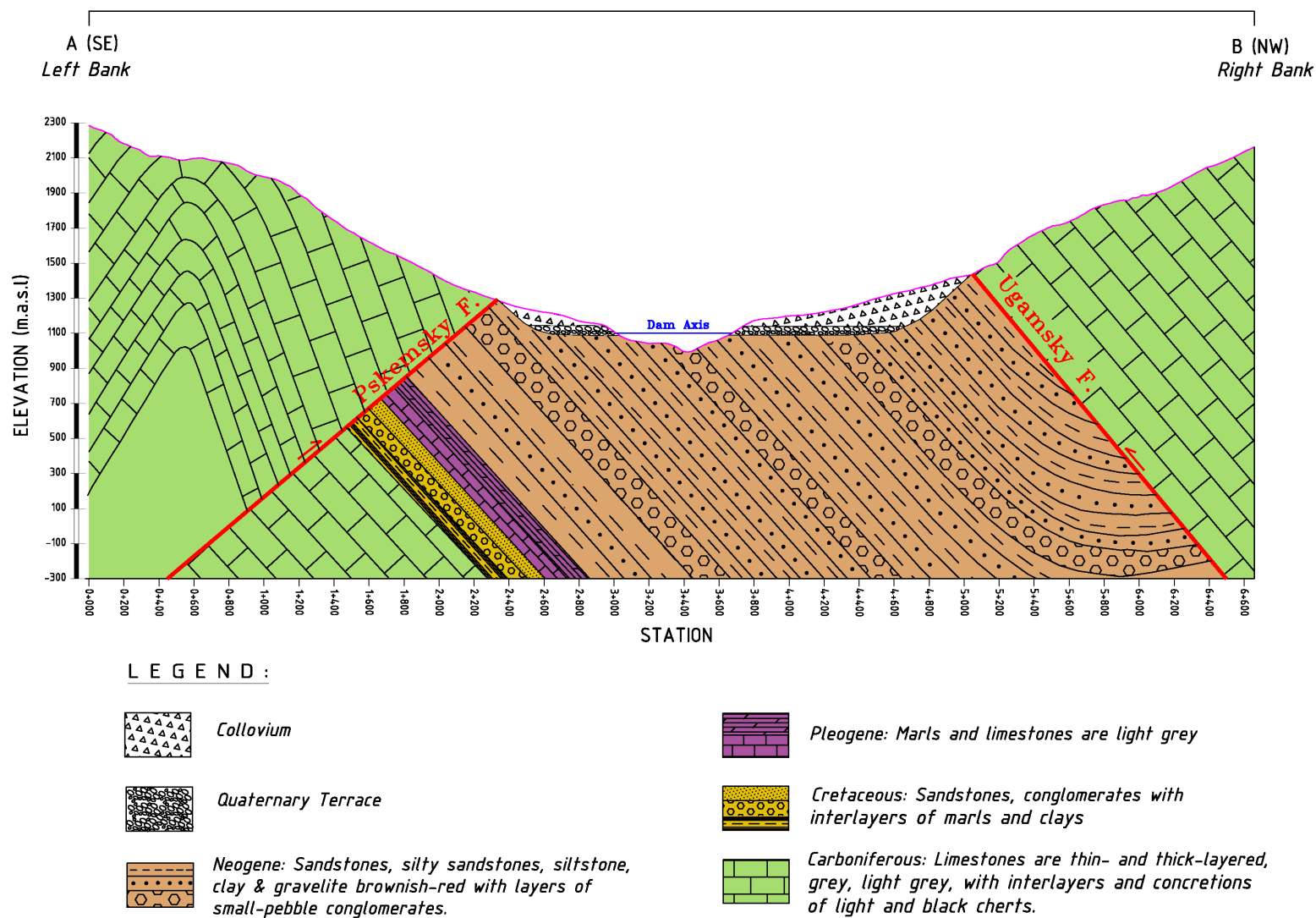


Рисунок 2.8 - Структурная геология створа Пскемской плотины. Поперечный разрез по оси плотины (линия разреза показана на Рисунке 7)

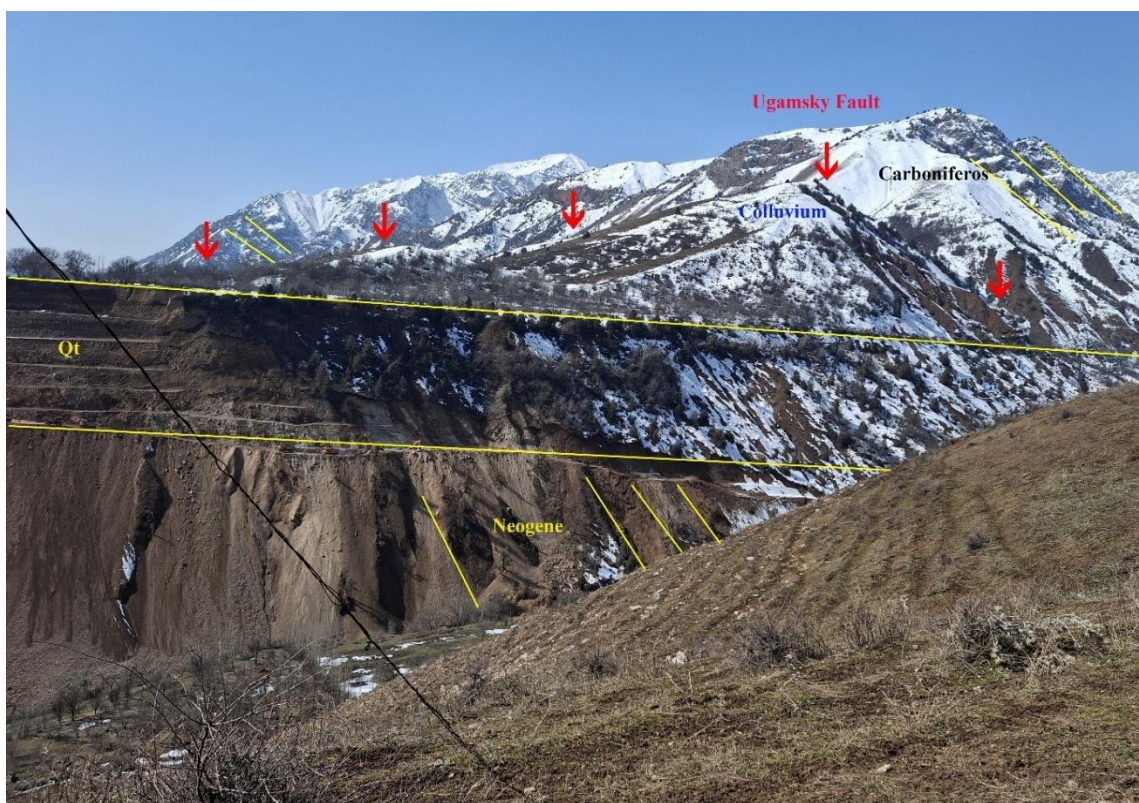


Рисунок 2.9 - Вид на Угамский разлом. Верхнее изображение: Долина Тепар выше створа плотины (вид на юго-запад). Нижнее изображение: Правый берег ниже створа плотины (вид на юго-запад)

Пскемский разлом. Пскемский разлом четко идентифицируется на спутниковых снимках как линейная структура, простирающаяся параллельно левому берегу реки Пскем на протяжении примерно 35 километров. Этот разлом характеризуется как взброс с падением на юго-восток, имеющий направление движения, противоположное Угамскому разлому.

Тектонические перемещения по Пскемскому разлому привели к надвигу каменноугольных известняков с юго-востока на более молодые геологические формации, включая меловые, палеогеновые и неогеновые отложения (Рисунок 2.10). Наличие выходов меловых и палеогеновых пород с падением на северо-запад в подошве разлома выше створа плотины, вместе с более древними каменноугольными отложениями (C1t) висячем боку ниже плотины, свидетельствует о существовании антиклинали с осью, погружающейся на юго-запад.

Северо-западное крыло антиклинали пересечено и смещено Пскемским разломом. Минимальное расстояние от разлома до русла реки составляет около 1100 метров, а до левого устья плотины - примерно 700 метров.

Выше по течению, в районе ручья Каптаркумыш, Пскемский разлом приближается к реке, проходя практически вдоль русла Пскема на расстоянии около 3 километров от створа плотины.

Плоскость Пскемского разлома имеет угол падения от 30° до 45°. Зона разлома, развитая в известняковых формациях, имеет мощность приблизительно 20-25 метров. Согласно "Инженерно-геологическим условиям, Том 1. Отчет №1921-03-T1", общая амплитуда смещения по Пскемскому разлому оценивается в 0,5-1,5 километра.

На основании структурных особенностей, выявленных в створе Пскемской плотины, наиболее подходящей структурной моделью для данного района является "Pop-down" структура. Хотя в некоторых отчетах (например, "Инженерно-геологические условия, Том 1, Отчет №1921-03-T1") эта конфигурация называется грабеном, важно отметить, что грабены обычно формируются в условиях растяжения. Все геологические и тектонические данные по створу Пскемской плотины указывают на преобладание сжимающих напряжений (Рисунок 2.11).

Из-за отсутствия подходящих геологических разрезов, где четвертичные отложения четко перекрывают след Угамского разлома, в настоящее время невозможно оценить его современную активность только на основе полевых наблюдений. Тем не менее, в сейсмотектонической литературе Узбекистана Угамский разлом широко признан как активный. Соответственно, в текущих исследованиях Угамский разлом также классифицируется как активный.

В ходе последних исследований основное внимание уделялось Пскемскому разлому, особенно в районе напротив долины Тепар. В этой зоне четвертичная аллювиальная терраса расположена над разломом. Хотя плохая видимость (усугубляемая снежным покровом) и ограниченный доступ к участку затруднили идентификацию разлома в четвертичных отложениях, имеющиеся данные не свидетельствуют о значительных смещениях в этих молодых осадках.

На основании этих наблюдений (и до проведения более детальных исследований) Пскемский разлом в настоящее время классифицируется как "потенциально активный".

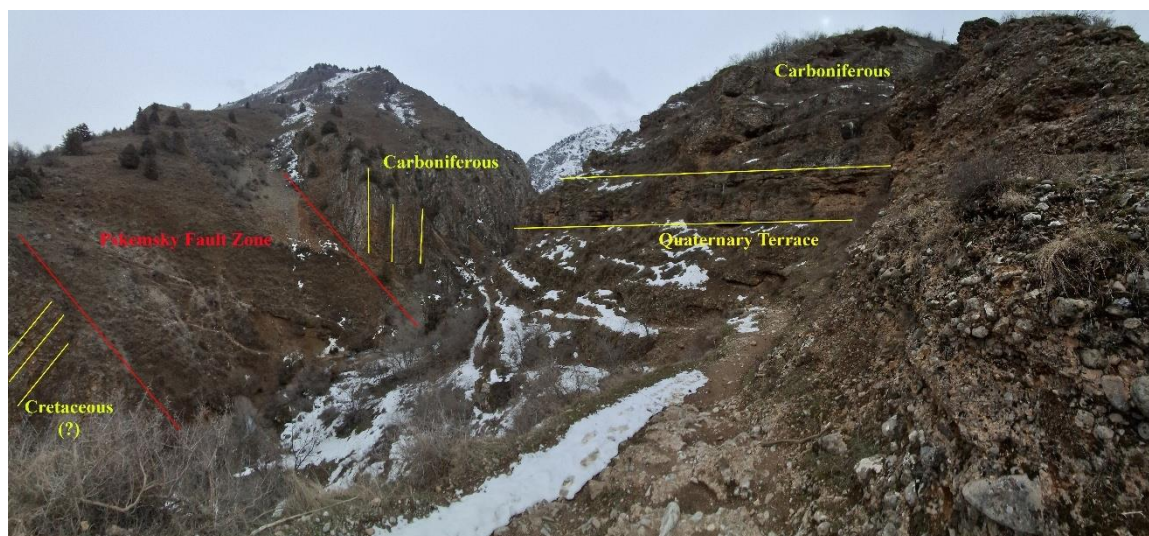
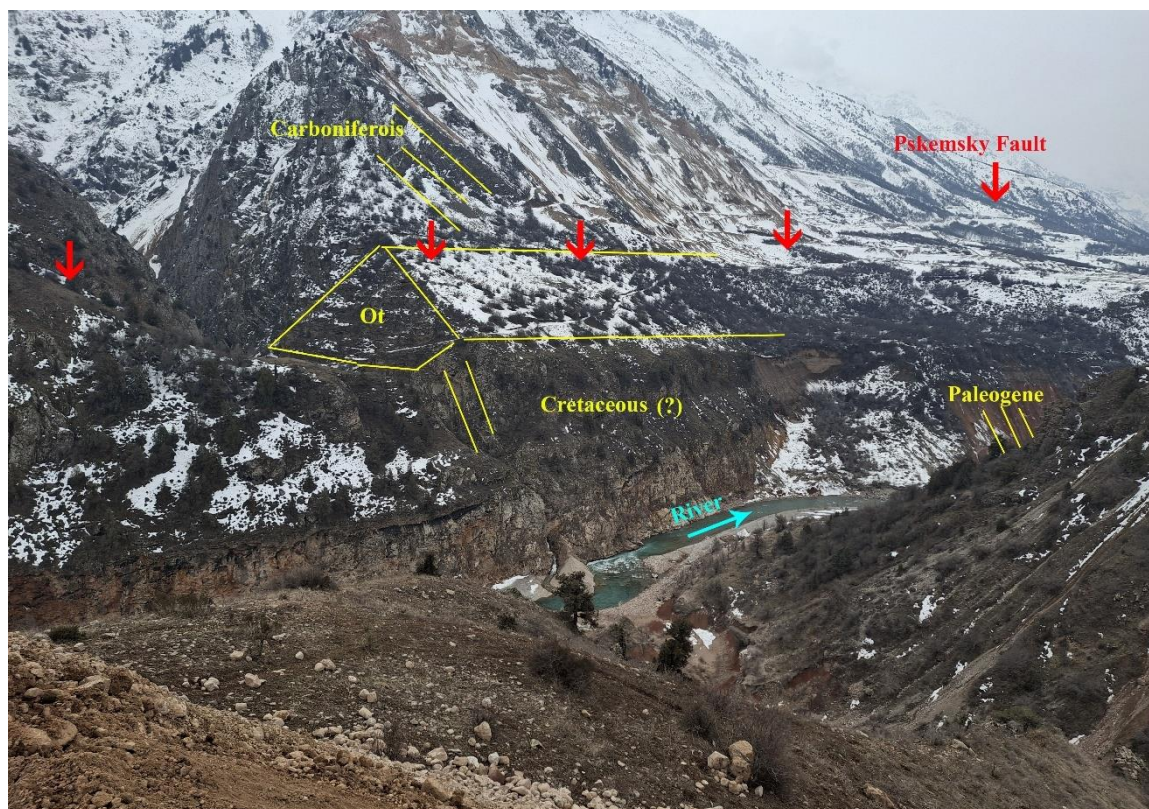


Рисунок 2.10 - Вид на Пскемский разлом выше створа плотины, противоположный берег долины Тепар. (Верхнее изображение: вид на юг; Нижнее изображение: вид на северо-восток)

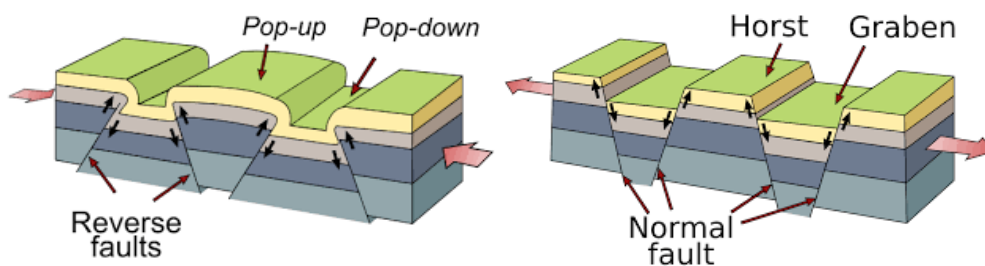


Рисунок 2.11 - Структурные модели "Pop-up/Pop-down" (справа) и "Горст/Грабен" (слева). Пскемская плотина расположена в структуре типа "Pop-down".

2.3. Оценка опасности разрыва

С точки зрения сейсмотектоники, наиболее важным параметром, влияющим на проектирование плотин из укатанного бетона (RCC), является опасность разрыва вдоль активного разлома, который может пересекать площадку плотины. Для этого необходимо определить активный разлом. Согласно Бюллетеню № 72 ICOLD, активный разлом определяется следующим образом:

Разлом, достаточно точно идентифицированный и локализованный, известный по историческим данным о смещениях или имеющий геологические свидетельства смещений в голоцене (11 000 лет), и который, из-за своего текущего тектонического положения, может испытывать движение в течение предполагаемого срока службы искусственных сооружений.

При определении активного разлома также следует учитывать следующие моменты:

- Разлом с потенциалом разрушений должен иметь значительную длину, иначе он не может считаться активным.
- Следует учитывать, что активный разлом не может быть незначительным нарушением, и сопровождающие нарушения и изменения механических свойств окружающей породы должны быть обнаруживаемыми.

На основе информации, полученной из предыдущих исследований, а также полевых изысканий, сейсмотектонические характеристики Угамского и Пскемского разломов можно обобщить следующим образом:

Пскемский разлом:

- Лазерное сканирование (Lidar) и полевые исследования показывают, что Пскемский разлом не имеет признаков недавней активности.
- Этот разлом находится на расстоянии примерно 700–1100 метров от левого устоя и русла реки соответственно и не пересекает непосредственно тело плотины.

Угамский разлом:

- В ходе полевых исследований не было обнаружено надежных свидетельств недавней активности Угамского разлома в районе площадки плотины. Следует отметить, что в зоне строительства четвертичные аллювиальные террасы не перекрывают разлом.
- Угамский разлом классифицируется как активный в сейсмотектонической литературе Узбекистана.
- Этот разлом находится на расстоянии около 1,5 км от русла реки и не пересекает непосредственно тело плотины.

На основании вышеизложенной информации и определения активного разлома, на площадке плотины на данный момент не выявлено основных разломов, поэтому можно заключить, что сейсмический разрыв не считается значительным риском в пределах площадки Пскемской плотины.

2.4. Оценка сейсмической опасности

Целью оценки сейсмической опасности для проекта плотины является расчет параметров движения грунта при землетрясении на площадке для использования при оценке тела плотины и связанных с ней сооружений в условиях сейсмической нагрузки. Параметры движения грунта, необходимые для характеристики сейсмических нагрузок для инженерной оценки плотины, зависят от:

- Типа плотины
- Возможных режимов разрушения или требований к эксплуатационным характеристикам плотины
- Метода, используемого для анализа плотины

Учитывая сейсмотектоническую модель и вышеуказанные факторы, на данном этапе проекта оценивался только пик ускорения грунта (PGA) для сейсмического проектирования тела плотины. Эти параметры в основном зависят от магнитуды землетрясения и расстояния, а также от свойств регионального пути распространения и локальных геологических условий. Хотя многие параметры реакции полезны, традиционно пик ускорения грунта использовался в инженерных приложениях, таких как квазистатический анализ (псевдостатический анализ).

Вместо использования стандартных проектных параметров, указанных в сейсмических строительных нормах, в данном отчете оцениваются параметры, специфичные для площадки. Для этого применяются как вероятностные, так и детерминированные методы в анализе сейсмической опасности. Вероятностная оценка сейсмической опасности (PSHA) охватывает широкий спектр оценок сейсмической опасности. Цель PSHA — количественно определить вероятность превышения уровней движения грунта на площадке при всех возможных землетрясениях. Детерминированные методы рассматривают причины сейсмичности и сценарий землетрясения с наихудшим случаем относительно определенной площадки. Результаты вероятностного метода используются для определения параметров для расчетных землетрясений OBE, DBE и MDE, в то время как детерминированный метод применяется для оценки движения грунта при MCE на площадке.

Анализ сейсмической опасности для проекта плотины требует различных базовых данных, включая определение различных сейсмических источников, подготовку сейсмической модели, оценку сейсмического потенциала ($M_{\max}$) сейсмических источников, выбор подходящих отношений затухания и проведение анализа сейсмической опасности с использованием различных вероятностных и детерминированных методов. Эта часть включает оценку значений PGA для различных расчетных землетрясений.

2.4.1. Сейсмотектоническая модель

На основе всестороннего сейсмотектонического анализа, охватывающего рамки тектоники плит, структурную геологию и историческую сейсмичность, можно сделать следующие ключевые выводы:

а) Тектоническая обстановка:

Площадка плотины Пскем расположена на северо-востоке Узбекистана, в северо-западном сегменте горного пояса Тянь-Шаня. Этот регион находится в пределах тектонически активного Альпийско-Гималайского орогенного пояса, который является одной из наиболее сейсмически динамичных зон в мире.

б) Историческая сейсмичность:

Район проекта испытал значительную сейсмическую активность, включая заметные исторические землетрясения с магнитудами M_w 7.6 (1946), M 6.7 (1886) и M 6.6 (1896).

с) Распределение сейсмичности:

Распределение землетрясений в районе варьируется от умеренного до высокого. Хотя многие события имеют малую или умеренную магнитуду, некоторые были крупными. Эти землетрясения обычно имеют малую глубину очага (менее 30 км) и преимущественно надвиговые механизмы.

д) Структурные тренды и кинематика разломов:

Общие структурные тренды, наблюдаемые в районе проекта, ориентированы СВ-ЮЗ и СЗ-ЮВ. Большинство активных разломов следуют этим направлениям и демонстрируют надвиговую кинематику, соответствующую компрессионному тектоническому режиму.

е) Глубина сейсмогенного слоя:

На основе имеющихся геологических и геофизических данных глубина сейсмогенного слоя в северо-западном Тянь-Шане оценивается в диапазоне от 10 до 30 км.

ф) Ориентация поля напряжений:

Направление максимального сжимающего напряжения (σ_1) в районе проекта интерпретируется как СЗ-ЮВ до С-Ю, что подтверждает режим надвигового разломообразования, выявленный в районе.

г) Значимые источники разломов:

Два наиболее значимых и ближайших активных или потенциально активных разлома вблизи площадки плотины — это Угамский разлом и Пскемский разлом, расположенные примерно в 1,5 км и 1 км от площадки соответственно.

2.4.2. Площадные источники

Для моделирования площадных источников требуются следующие параметры:

- Минимальная и максимальная сейсмогенные глубины
- Шкала магнитуд
- Минимальная и максимальная магнитуда
- Механизм разлома
- Уровень активности (λ)
- Значение b (или β)

В данном отчете рассматриваются два типа площадных источников: сейсмогенные зоны и общие площадные источники. Пространственные модели этих источников представлены на рисунках 2.12 и 2.13 соответственно. Параметры, необходимые для моделирования сейсмогенных зон и площадных источников, приведены в таблицах 2.1 и 2.2 соответственно. Все параметры источников были заимствованы из работы Ибрагимовой и др. (2020), что обеспечивает согласованность с недавними региональными исследованиями. Сейсмический потенциал площадных источников оценивается путем добавления примерно 0,3 единицы магнитуды (M) к максимальной наблюдаемой магнитуде землетрясения в каждой зоне источника. Эта корректировка учитывает возможную недооценку исторических сейсмических событий и потенциальные будущие события, которые могут превышать зарегистрированные максимальные магнитуды.

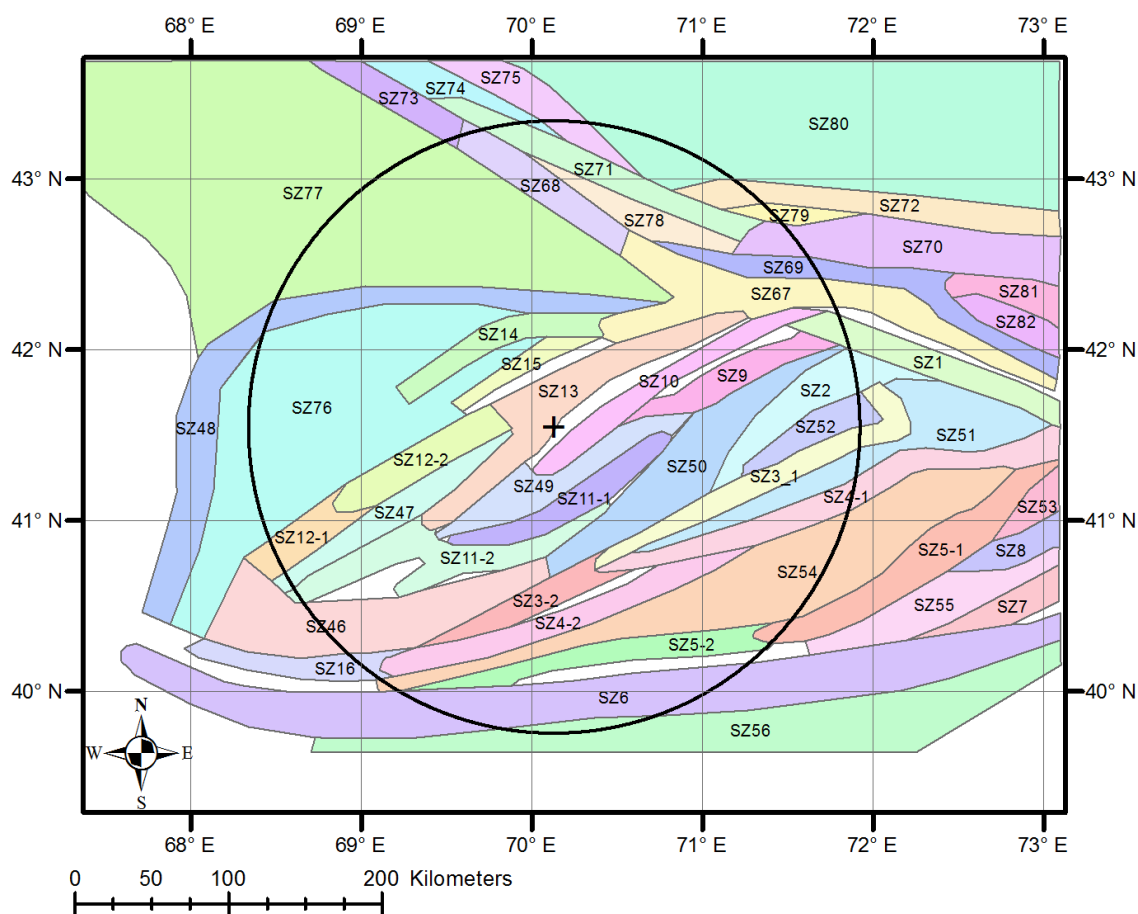


Рисунок 2.12 - Модель сейсмогенных зон для оценки сейсмической опасности в районе плотины (по данным Ибрагимова и др., 2020). Кружком обозначена зона радиусом 200 км вокруг створа Пскемской плотины

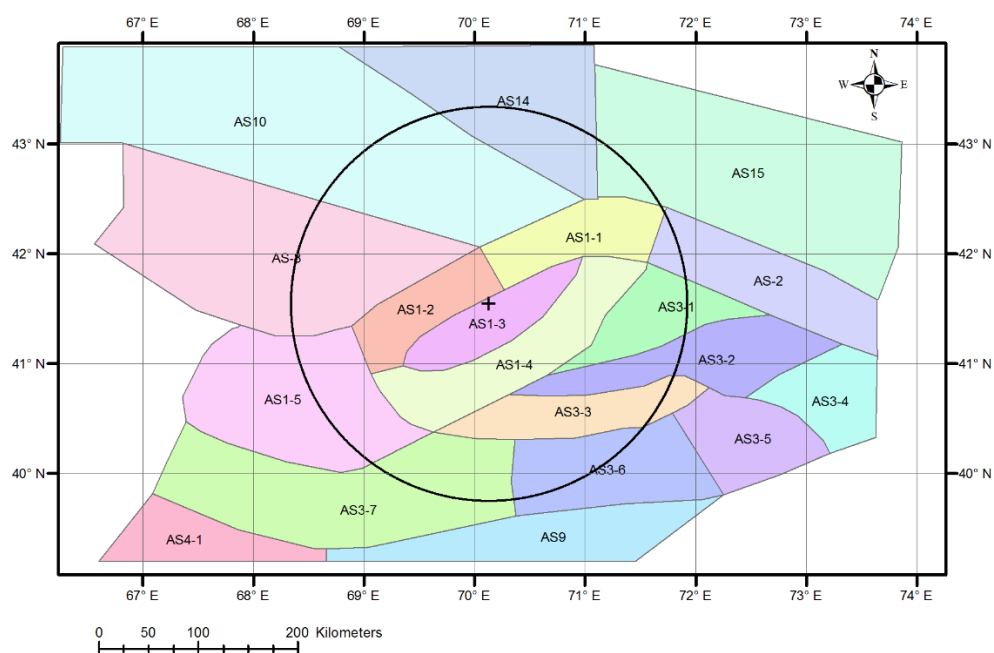


Рисунок 2.13 - Модель площадных источников сейсмичности для оценки сейсмической опасности (по данным Ибрагимовой и др., 2020). Кружком обозначена зона радиусом 200 км вокруг створа плотины

**Таблица 2.1- Параметры сейсмичности для моделирования сейсмогенных зон
(по данным Ибрагимова и др., 2020)**

Name of Seismogenic zone	Mmin (Mw)	Mmax(Mw)	λ	β	b
SZ1	3.75	6.98	1.1475	2.4102	1.0479
SZ2	3.75	6.98	0.5015	2.0735	0.9015
SZ3_1	3.75	6.98	0.4238	2.7747	1.2064
SZ3-2	3.75	6.49	0.0956	2.6388	1.1473
SZ4-1	3.75	6.98	3.6945	3.0204	1.3132
SZ4-2	3.75	6.67	0.4447	2.3515	1.0224
SZ5-1	3.75	6.98	1.1892	2.8801	1.2522
SZ5-2	3.75	6.55	0.4197	2.4288	1.056
SZ6	3.75	6.98	1.1892	2.8801	1.2522
SZ9	3.75	6.36	0.0622	2.6388	1.1473
SZ10	3.75	6.36	0.0406	2.6388	1.1473
SZ11-1	3.75	6.36	0.1395	2.2563	0.981
SZ11-2	3.75	6.36	0.3063	2.1606	0.9394
SZ12-1	3.75	5.72	0.0454	1.7933	0.7797
SZ12-2	3.75	6.55	0.38	2.3230	1.01
SZ13	3.75	6.49	0.6028	2.1864	0.9506
SZ14	3.75	5.98	0.0799	2.6305	1.1437
SZ15	3.75	6.05	0.0497	2.6388	1.1473
SZ16	3.75	5.92	0.067	2.6388	1.1473
SZ46	3.75	5.72	0.1512	2.3021	1.0009
SZ47	3.75	5.38	0.1464	2.6388	1.1473
SZ48	4	6.05	0.2401	2.6388	1.1473
SZ49	3.75	5.38	0.142	3.1289	1.3604
SZ50	3.75	5.38	0.2594	2.0679	0.8991
SZ51	3.75	5.72	1.8192	2.9707	1.2916
SZ52	3.75	5.72	0.1377	2.6388	1.1473
SZ54	3.75	5.72	2.9502	3.1321	1.3618
SZ55	3.75	5.72	1.2328	3.0098	1.3086
SZ56	3.75	6.98	1.1892	2.8801	1.2522
SZ67	4	6.36	0.557	2.9323	1.2749
SZ68	4	6.05	0.2366	2.6388	1.1473
SZ69	4	6.67	0.256	2.6388	1.1473
SZ70	4	6.36	0.286	2.6388	1.1473
SZ71	4	5.72	0.1819	2.6388	1.1473
SZ72	4	6.67	0.173	2.6388	1.1473
SZ73	4	5.72	0.0477	2.6388	1.1473
SZ74	4	5.72	0.0388	2.6388	1.1473
SZ75	4	5.72	0.0477	2.6388	1.1473
SZ76	4	5.92	1.0733	2.6085	1.13414
SZ77	4	5.72	0.5737	2.7944	1.2150
SZ78	4	5.72	0.1607	2.6388	1.1473
SZ79	4	5.92	0.1148	2.6388	1.1473
SZ80	4	6.17	0.4264	2.2903	0.9958

**Таблица 2.2- Параметры сейсмичности для моделирования площадных источников
(Ибрагимова и др., 2020)**

Name of Area source	Mmin (Mw)	Mmax (Mw)	λ	β	b
AS1-1	3.75	6.86	0.4419	2.4656	1.072
AS1-2	3.75	6.99	0.84	2.3301	1.0131
AS1-3	3.75	6.86	0.3282	2.3161	1.007
AS1-4	3.75	6.93	0.8993	2.3600	1.0261
AS1-5	3.75	5.45	0.5743	3.5006	1.522
AS-2	3.75	7.48	2.8594	2.6487	1.1516
AS3-1	3.75	6.01	1.546	3.2044	1.3932
AS3-2	3.75	6.8	7.7525	2.7455	1.1937
AS3-3	3.75	5.6	0.5841	3.6904	1.6045
AS3-4	3.75	6.86	3.2457	2.8423	1.2358
AS3-5	3.75	6.42	2.2015	3.1386	1.3646
AS3-6	3.75	6.8	3.9088	2.8739	1.2495
AS3-7	3.75	6.99	3.8989	2.5976	1.1294
AS-8	3.75	5.88	0.5485	2.6218	1.1399
AS10	4	6.65	0.8591	2.8210	1.2265
AS14	4	5.5	0.572	2.0180	0.8774
AS15	4	7.4	5.7663	2.4380	1.06

2.4.3. Источники разломов

Для моделирования источников разломов учитываются следующие параметры:

- Средний угол падения каждого разлома
- Верхняя и нижняя границы сейсмогенных глубин
- Глубина до верха разлома (H_{top})
- Механизм разлома

В районе проекта Пскем (радиус 150 км) смоделировано и проанализировано 9 источников разломов только с использованием детерминированного метода (Таблица 2.3 и Рисунок 2.14).

2.4.4. Модель движения грунта (отношение затухания)

Учитывая, что район проекта расположен в тектонически активном горном поясе Тянь-Шаня, для проекта Пскем выбраны следующие отношения затухания:

- Абрахамсон и др. (2014)
- Бор и др. (2014)
- Кэмпбелл и Бозоргния (2014)
- Чиу и Янгс (2014)
- Идрисс (2014)

Таблица 2.3- Наиболее значимые активные и потенциально активные разломы в радиусе 150 км вокруг площадки плотины

No	Fault	Length (km)	Rupture Length (km)	Tectonic Setting	Activity Type	Mechanism	Recorded largest earthquake	Maximum Probable Earthquake		
								W. & C. 1994	T. et al. (2017)	M_{max} (Mw)
1	Kokand-Kumbel-Khaidarkan F.	92	46	Shallow Crustal	PA	SS	-	7.02	6.76	6.9
2	Ugamsky F.	110	55	Shallow Crustal	PA	R	1937 (M 6.5) ?	7.11	7.22	7.2
3	South Pskemsky (1) F.	45	22.5	Shallow Crustal	PA	R	-	6.64	6.59	6.6
4	South Pskemsky (2) F.	105	52.5	Shallow Crustal	PA	R	-	7.09	7.19	7.1
5	Karzhanu F.	55	27.5	Shallow Crustal	PA	R	1959 (M 5.6) 1977 (M 5.3)	6.74	6.73	6.7
6	Suren Ata F.	32	16	Shallow Crustal	PA	R	-	6.45	6.35	6.4
7	Chatkal F.	150	75	Shallow Crustal	PA	R	-	7.28	7.44	7.4
8	Arashan F.	95	47.5	Shallow Crustal	PA	SS R	-	7.04	7.12	7.1
9	Sukok F.	42	21	Shallow Crustal	PA	R	-	6.60	6.54	6.6

SS= Strike-Slip

SS R= Strike-Slip with Reverse component

R= Reverse or Thrust

A=Active

PA=Potentially Active

W & C (1994): Wells and Coppersmith (1994)

T. et al. (2017) : Thingbaijam et al. (2017)

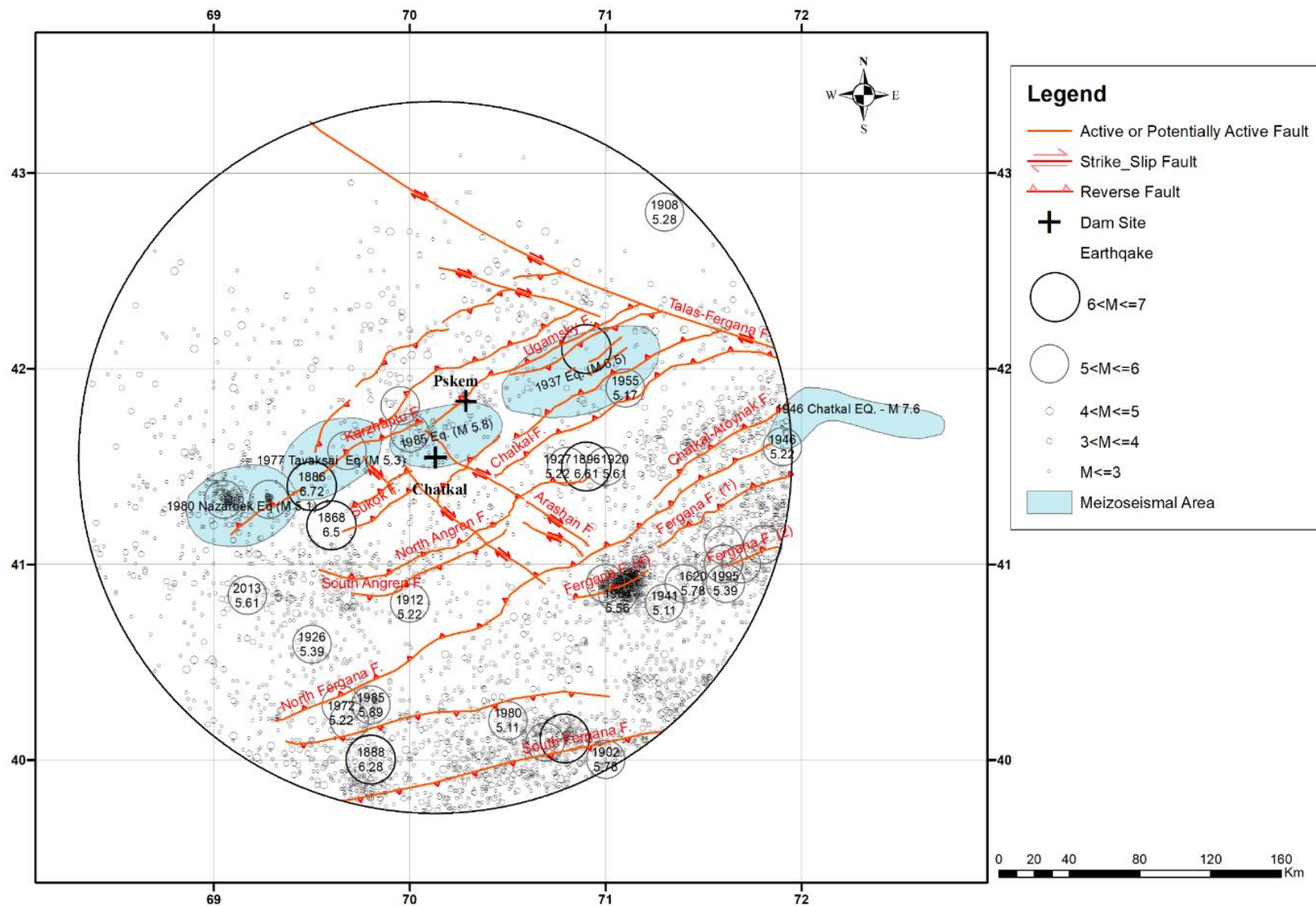


Рисунок 2.14- Сейсмотектоническая карта в радиусе 200 км от створов Пскемской и Нижне-Чаткальской плотин.

Для оценки пикового ускорения грунта (PGA) различными вероятностными и детерминистическими методами был выбран алгоритм логического дерева. Вес каждого уравнения затухания принят равным 20% (100%/5) для горизонтальной и вертикальной компонент. Согласно Бюллетеню ICOLD 148 (2016), вертикальные ускорения приняты равными 2/3 от горизонтальных значений.

2.4.5. Рекомендуемые проектные параметры – значения PGA

На основе проведённого сеймотектонического анализа и оценки сейсмической опасности для проекта Пскемской плотины рекомендуемые значения PGA для различных уровней землетрясений представлены в Таблице 2.4.

Важно: Чарвакская ГЭС расположена ниже по течению от Пскемской плотины. Любая возможная авария Пскемской плотины может привести к катастрофическим последствиям. В связи с этим рекомендуется использовать значения PGA для наибольшего предельного землетрясения (MCE 84% см. Таблица 2.4).

Таблица 2.4- Рекомендуемые значения PGA для проектных землетрясений на площадке Пскемской плотины

	Return Period (Design Earthquake)	PGA (Mean)	
		PGHA (g)	PGVA (g)
1	145 (OBE)	0.192	0.128
2	475 (DBE)	0.270	0.180
3	975 (MDE)	0.329	0.219
4	2475 (MDE)	0.421	0.280
5	MCE (50%)- All Models	0.310	0.207
6	MCE (84%)- All Models	0.570	0.380

2.5. Выводы

На основании проведённых исследований и анализа можно сделать следующие выводы:

- Площадка плотины Пскем расположена в горах Западного Тянь-Шаня в северо-восточном регионе Узбекистана. Горный хребет Тянь-Шань обычно считается зоной низкой деформации внутри континентальных территорий.
- В регионе Тянь-Шаня возникновение землетрясений с разрывом поверхности, связанных с механизмами надвиговых разломов, является относительно редким.
- Оценки структурной геологии, проведенные в районе площадки плотины, показывают, что риск разрыва поверхности разлома не является значительным для плотины Пскем.
- Согласно оценке сейсмической опасности, Угамский разлом определен как контролирующий сейсмический источник для максимального правдоподобного землетрясения (MCE) на площадке, с эталонной магнитудой землетрясения Mw 7.2. Соответствующие значения пикового горизонтального ускорения грунта (PHGA) и пикового вертикального ускорения грунта (PVGA) для MCE составляют **0,57 g** и **0,38 g** соответственно.

3. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

3.1. Введение

Проведены исследования для оценки возможности и целесообразности строительства бетонной гравитационной плотины (RCC) вместо первоначально предложенной каменно-набросной плотины с бетонным экраном (CFRD). В главе представлены актуализированные геологические и инженерно-геологические условия площадки Пскемской ГЭС.

Все описания и выводы основаны на доступной документации из предыдущих исследований, выездном осмотре площадки и всесторонних обсуждениях, проведенных в период с 27 февраля по 5 марта 2025 года. Проведенные исследования позволили разработать обновленную геологическую карту и профиль вдоль оси плотины. Однако некоторые неопределенности остаются неразрешенными, в частности, относительно условий грунтовых вод и градиентов на обоих устоях, которые расположены дальше от русла реки.

В рамках текущего исследования было рассмотрено и проанализировано значительное количество карт и отчетов, начиная от исходных документов технико-экономического обоснования и заканчивая более поздними исследованиями и чертежами. Наиболее значимые из них перечислены ниже:

- Отчет об инженерно-геологических изысканиях, 2020–2023 годы;
- Отчет о геологических условиях вдоль бетонного упора и русла реки, 2022 год;
- Приложение 2.1 - Расположение скважин;
- Приложение 2.2 - Журналы скважин СКЗ–СК14, 2007 год;
- Приложение 2.3 - Геологический план и разрезы, 2007 год;
- Горизонтальный геологический разрез на отметке EL. 980.0;
- Горизонтальный геологический разрез на отметке EL. 1025.0;
- Карта расположения геофизических профилей;
- Отчет о геофизическом обследовании площадки плотины Пскем;
- Фотографии керновых ящиков разведочных скважин (СКВ-1–СКВ-14);
- Геологический журнал разведочных шурфов;
- Технические отчеты по разведочным шурфам;
- Геологическая съемка исследовательской галереи.

3.2. Геологические условия площадки плотины

Как было объяснено в предыдущем разделе, на региональном масштабе площадка плотины Пскем расположена в пределах структурной особенности типа "pop-down" (Рисунок 2.11). Однако на более локальном уровне геологическая структура площадки плотины характеризуется как неогеновая моноклиналь.

В этой структуре плоскости напластования полого наклонены к северу, от левого берега реки к правому (Рисунок 2.8). Рисунок 3.1 представляет геологическую карту площадки плотины, полученную на основе технико-экономических обоснований.

Коренные породы в исследуемой области состоят из неогеновых красных слоев с общей толщиной, превышающей 2000 метров. Судя по их окраске, эта формация, вероятно, железистая. С геотехнической точки зрения, ее можно классифицировать как мягкую породу.



3.2.1. Геологическое/стратиграфическое зонирование

На основе литологических характеристик всей неогеновой последовательности, обнаженной на площадке плотины, в сочетании с геологическими журналами разведочных скважин, можно выделить пять различных стратиграфических единиц, которые представлены ниже в порядке от наиболее древних к наиболее молодым:

N₀ (N ноль): Состоит из чередования красных до темно-красно-коричневых алевролитов и песчаных алевролитов с брекчиевой текстурой, с редкими прослоями песчаников или конгломератов. Толщина неизвестна. Эта единица включает небольшую часть коренных пород основания плотины на левом устое.

N₁: Чередование темно-красных до красно-коричневых алевролитов, песчано-глинистых алевролитов, мергелей с редкими прослоями песчаников/микроконгломератов, частично с брекчиевой текстурой. Толщина составляет примерно 270 м, и эта единица формирует большую часть основания левого устоя.

N₂: Светло-красные до коричнево-красных алевролиты с брекчиевой текстурой и некоторыми прослоями песчаных алевролитов. Эта единица составляет среднюю часть основания плотины и простирается до правого устоя до отметки 1015 м. Светлый известковый мергельный ключевой слой определяет границу между этой единицей и N₃ (Рисунок 3.2). Толщина этой единицы составляет около 70 м.

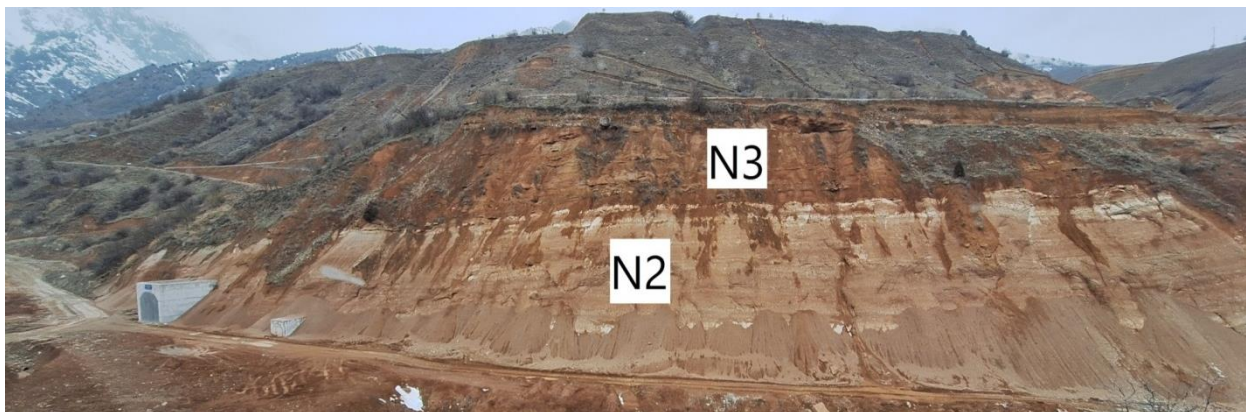


Рисунок 3.2- Резкий контакт между единицами N2 и N3 на правом устье плотины из укатанного бетона

N₃: Чередование алевролитов, песчаников, песчаных алевролитов и микроконгломератов с редкими прослоями глин/мергелей, темно-красных до коричнево-красных. Рисунок 4 показывает контакт между единицами N₂ и N₃ на правом устье. Толщина этой единицы составляет примерно 117 м.

N₄: Чередование алевролитов и песчано-глинистых алевролитов с некоторыми толстыми прослоями песчаников или микроконгломератов у основания, красных до красно-коричневых. Толщина этой единицы оценивается примерно в 130 метров. Эта единица формирует небольшую часть коренных пород основания плотины на правом устье. Рисунок 3.3 показывает эти геологические единицы на продольном профиле вдоль оси плотины из укатанного бетона.

Значительная толщина наносов, включающих старые и современные речные террасы, коллювий и смытый склоновый материал, на обоих устоях плотины представляет собой значительную геотехническую и геологическую проблему. Эта проблема потребовала подготовки карты коренных пород, которая иллюстрирует толщину четвертичных отложений, покрывающих коренные породы, и также может служить картой контуров коренных пород. На основе данных разведочных скважин (СКВ1–СКВ14) и результатов шурфов на обоих устоях была разработана карта коренных пород (Рисунок 3.4).

Эта карта не только дает представление о пространственном распределении толщины четвертичных отложений, но и служит ценным инструментом для проекта плотины при точном расчете объемов выемки грунта.

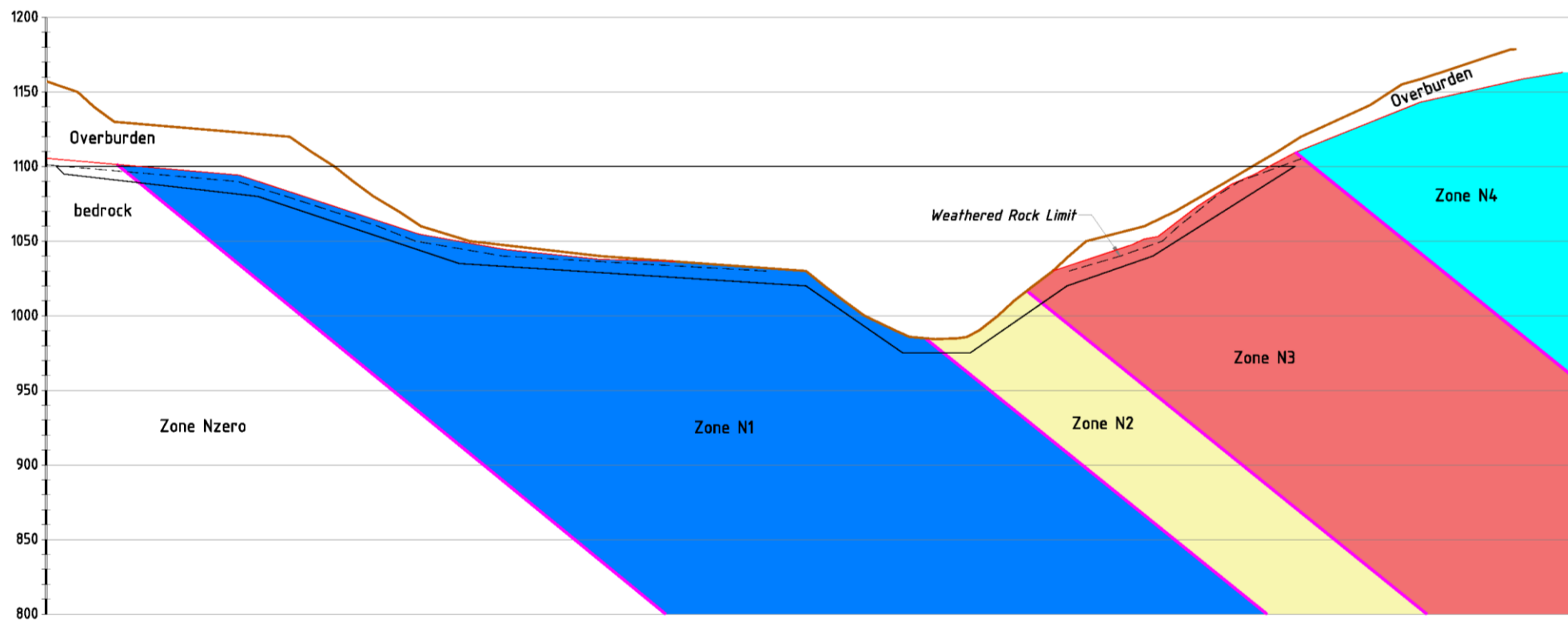


Рисунок 3.3- Геологический профиль вдоль оси плотины из укатанного бетона, показывающий пять различных стратиграфических единиц $N_0 - N_4$

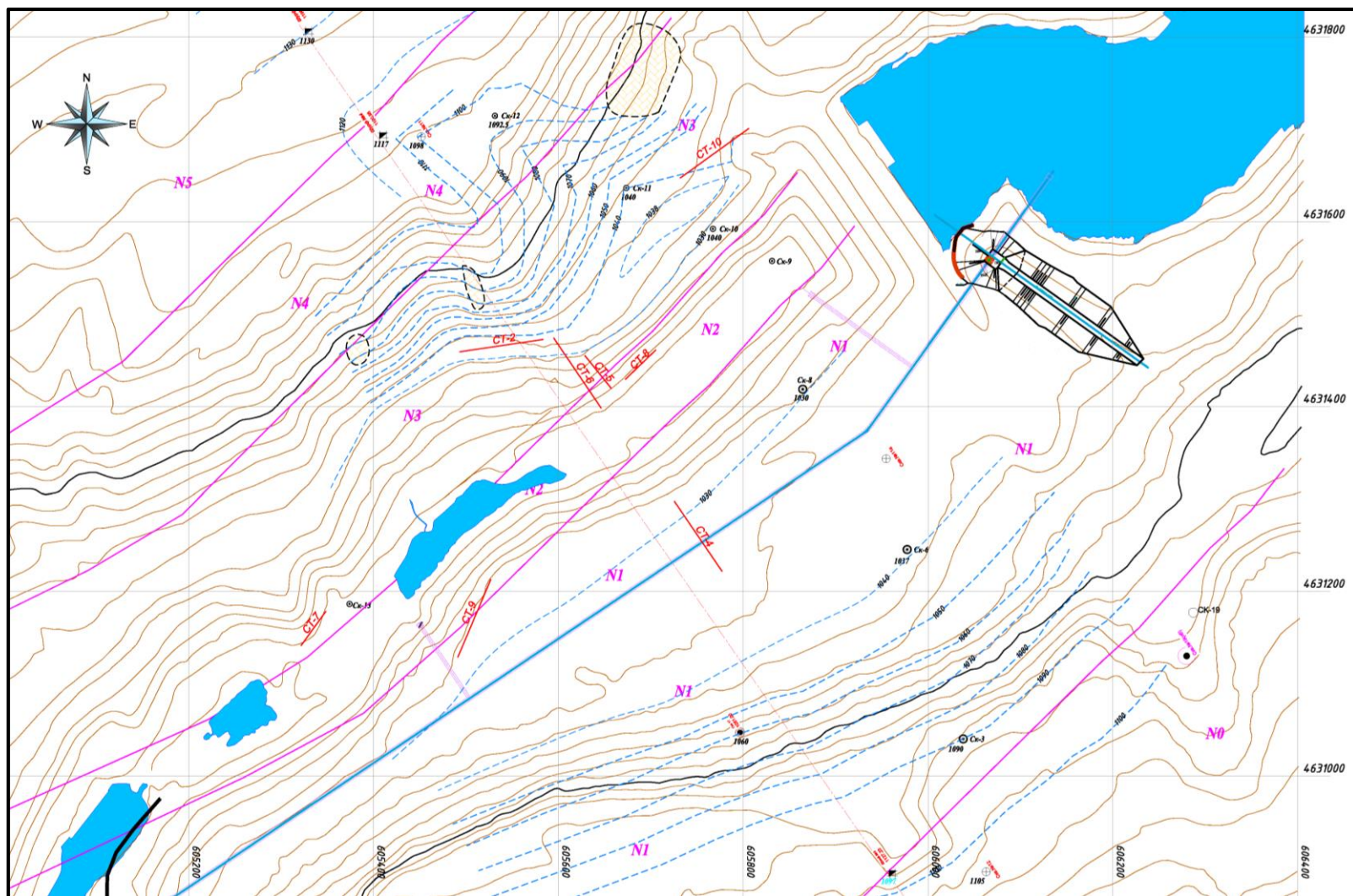


Рисунок 3.4- Карта района плотины (синие пунктирные линии иллюстрируют контур коренных пород в области, покрытые делювием)

3.2.2. Латеральный переход литологии

Одной из выдающихся характеристик неогеновых литологий в исследуемой области является изменчивость типов пород как в латеральном (в пределах слоев), так и в вертикальном (между слоями) направлениях. Например, слой песчаника может переходить в конгломерат или алевролит либо с глубиной, либо вдоль своего латерального распространения (Рисунок 3.5). Также очевидны вариации толщины как в вертикальном направлении, так и вдоль простираения отдельных слоев. Эти особенности типичны для отложений, сформированных в условиях мелководных осадочных бассейнов. Такая неоднородность может создавать трудности для систем классификации горных пород, которые опираются исключительно на литологические различия.

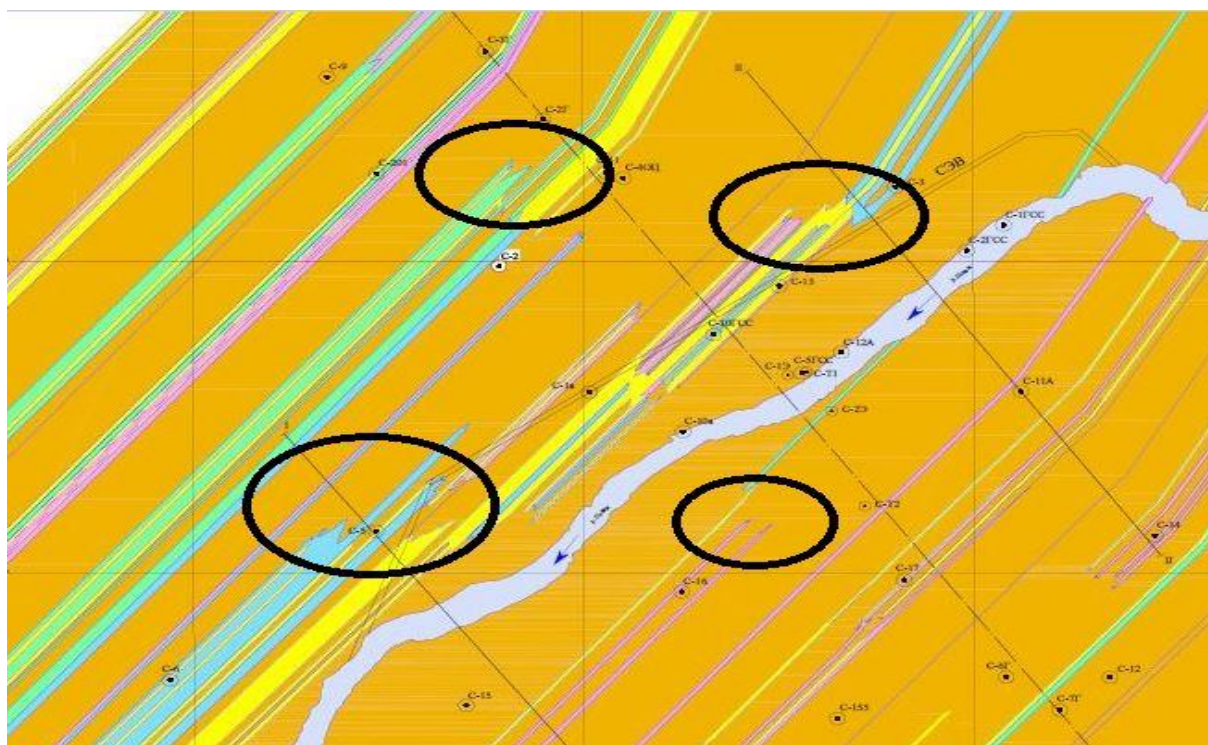


Рисунок 3.5- Геологический план уровня, показывающий латеральное преобразование различных типов пород

(Черные эллипсы обозначают переход песчаников -зеленый- или микроконгломератов -розовый- в алевролиты -оранжевый- и наоборот)

3.2.3. Геотехнические исследования

В этом разделе представлен детальный анализ подземных исследований, проведенных с помощью бурения скважин.

а) Буровые работы:

Согласно имеющимся данным, все буровые работы выполнялись с использованием однотрубных керновых колонок — подход, который в значительной степени устарел для исследований горных массивов. На протяжении многих лет геотехническое бурение в горных массивах преимущественно использует **двухтрубные керновые колонки** (Рисунок

3.6), которые более эффективны для сохранения целостности керна. В мягких породах, таких как неогеновая последовательность, иногда рекомендуется использование трехтрубных керновых колонок для дальнейшего уменьшения нарушений керна, вызванных буровыми жидкостями.

К сожалению, обзор керновых ящиков свидетельствует о том, что использование однотрубных колонок привело к неизвестной степени нарушения керна и ослабления образцов в процессе бурения. Этот метод также способствовал общему снижению коэффициента извлечения керна, особенно на малых глубинах.

Рисунок 3.7 иллюстрирует несколько керновых ящиков, где низкое качество керна можно отнести к использованию однотрубных керновых колонок во время бурения. Само собой разумеется, что негативное влияние однотрубных колонок более выражено в более слабых породах по сравнению с более прочными и компетентными формациями.



Рисунок 3.6- Однотрубная керновая колонка, использованная при бурении в Пскеме (справа), и стандартная двухтрубная керновая колонка, обычно рекомендуемая для бурения в горных массивах (слева)



Рисунок 3.7- Керновые ящики скважин СКВ3 (справа) и СКВ13 (слева), отражающие очень низкое качество извлечения керна

b) Уровень грунтовых вод (УГВ) и проницаемость горного массива:

Согласно имеющейся документации, остаются нерешенные вопросы, касающиеся проницаемости горного массива в различных единицах. Например, во многих скважинах, пробуренных в ходе предыдущих исследований, отсутствуют тесты Люжона (Lugeon testing), что создает пробел в данных о проницаемости.

Кроме того, установлено лишь несколько пьезометров для мониторинга уровня грунтовых вод на обоих устоях, что ограничивает надежность существующих данных. Несмотря на эти недостатки, предыдущий опыт и инженерные суждения предполагают, что горный массив в целом обладает низкой проницаемостью, за исключением толстых слоев (сечений) конгломератов и песчаников, которые могут демонстрировать среднюю или высокую проницаемость.

Подземные исследования выявляют значительный пробел в данных, касающихся условий грунтовых вод на обоих устоях. Похоже, что большинство скважин не были преобразованы в пьезометры. Однако во время технических совещаний после выезда на площадку были предоставлены новый перечень данных и карта расположения, указывающие на наличие трех пьезометров: по одному на каждом устое (выше по течению от перемычки) и третий вблизи русла реки ниже по течению от перемычки.

Эти пьезометры отслеживались ежедневно в течение 2024 года. Рисунок 3.8 показывает колебания уровня грунтовых вод (УГВ), зарегистрированные за этот период. Примечательно, что пьезометр № 2, расположенный на правом берегу, содержит данные только примерно за пять месяцев. Несмотря на это, имеющиеся данные показывают, что уровень грунтовых вод находится как минимум на 50 метров выше уровня реки (около 60 метров выше уровня грунтовых вод у русла реки), что указывает на крутой гидравлический градиент около 1,5, считающийся высоким для условий грунтовых вод.

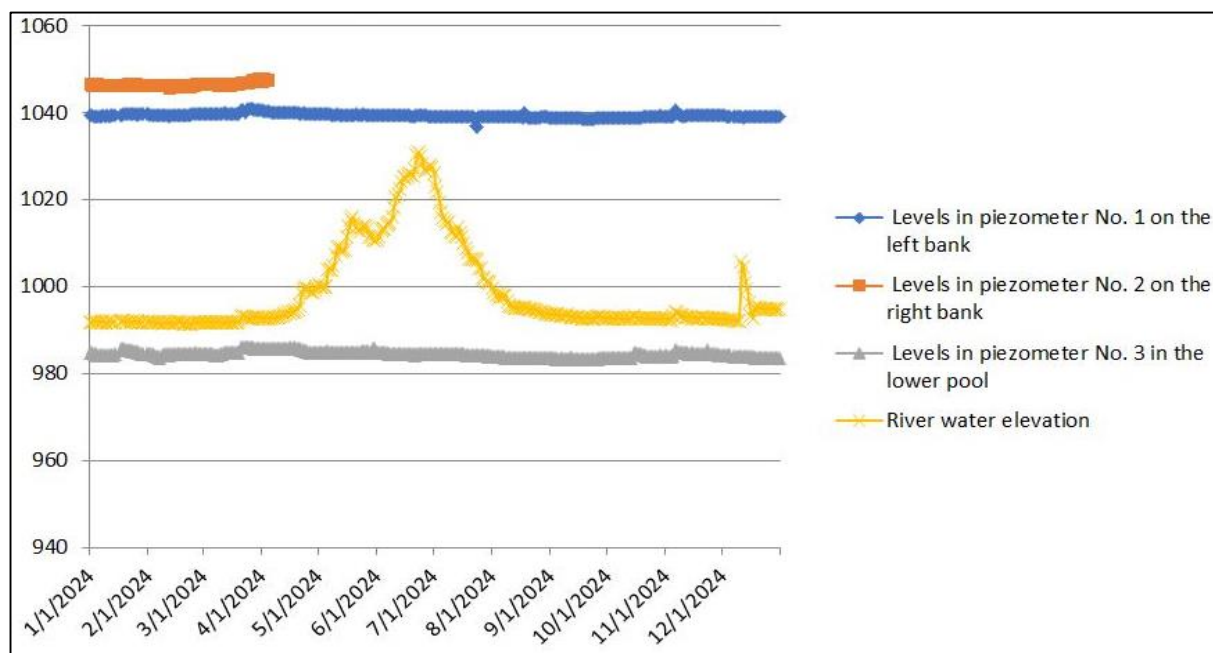


Рисунок 3.8- Колебания уровня грунтовых вод на основе 12-месячной записи в пьезометрах № 1–3

Пьезометр № 1, расположенный на левом устье, показывает гидравлический градиент примерно 0,75, который, хотя и ниже, чем на правом берегу, все еще относительно крутой. Максимальное годовое колебание уровня грунтовых вод в этом месте составляет около 4,5 метров, что указывает на общую низкую проницаемость в горном массиве.

Еще одно ключевое наблюдение заключается в том, что уровень грунтовых вод под руслом реки находится на 8–12 метров ниже поверхности реки. Это указывает на то, что река функционирует как изолированный водоем, не имеющий прямой связи с основным уровнем грунтовых вод. Однако, несмотря на эти выводы, гидравлический градиент в более удаленных участках обоих устьев остается неизвестным.

с) Меры по водонепроницаемости основания:

Некоторые оценки проницаемости в имеющихся отчетах привели к разработке предварительного зонирования проницаемости, как указано ниже:

- **Глубина 0–10 м: примерно $1,2 \times 10^{-4}$ см/с, эквивалентно 10 Люжсонам**
- **Глубина 10–30 м: примерно 5×10^{-5} см/с, эквивалентно 4,3 Люжсона**
- **Глубина > 30 м: примерно $0,3 \times 10^{-5}$ см/с, эквивалентно <1 Люжсону**

На основе этой классификации может быть рассмотрен относительно мелкий проект водонепроницаемого элемента (например, цементационная завеса или другие меры уплотнения). Однако, учитывая, что породы, подобные неогеновой последовательности, часто демонстрируют сильно варьирующиеся реакции на цементацию, настоятельно рекомендуется в ближайшем будущем провести испытательные цементационные тесты.

Эти тесты помогут определить эффективность традиционных методов цементации и необходимость альтернативных решений, таких как водонепроницаемая стена, для обеспечения адекватной водонепроницаемости основания плотины. Это критическое решение, которое следует рассмотреть, как можно скорее.

Для поддержки обоснованного проектирования приоритет должен быть отдан испытательной цементации как минимум **в двух местах** — в частности, на левом и правом примыканиях — для получения необходимых подтверждающих данных.

3.2.4. Характеристики трещиноватости

На основе полевых исследований характеристики напластования горного массива были измерены как **310–340°/40–59°** (направление падения/угол падения). Хотя в области основания плотины присутствует несколько систем трещин, были определены две основные системы трещин:

1. **120 - 145°/ 40 - 60°**
2. **240 - 250°/ 60 - 70°**

Их можно классифицировать как **сдвиговые** и **растяжные** трещины соответственно.

Крупных разломов на площадке плотины не выявлено. Обнаружены только мелкие разломы, демонстрирующие как надвиговые, так и нормальные механизмы (некоторые с полированными поверхностями). Однако смещения вдоль этих плоскостей разломов ограничены несколькими метрами, и обширных зон трещиноватости или сдвига не обнаружено.

Ряд таких мелких разломов расположен ниже по течению от выхода отводящего туннеля (Рисунок 3.9).

Важно отметить, что **русло реки в настоящее время не интерпретируется как зона разлома или маршрут разлома.**



Рисунок 3.9- Серия мелких нормальных разломов ниже по течению от системы отвода в неогеновой последовательности пород

3.2.5. Геофизические исследования

Отчет по геологическим исследованиям технико-экономического обоснования включает главу, посвященную геофизическим исследованиям, с итоговыми результатами, обобщенными в Таблице 3.1. Места расположения этих геофизических профилей указаны на Рисунке 3.4 как «Красные линии». В этой таблице также представлена корреляция между геологическим зонированием и геофизическими профилями. Как показано, средняя скорость Р-волны (V_p) для неогенового горного массива составляет примерно **2700 м/с**.

Хотя эта скорость не соответствует высококачественному горному массиву, она указывает на осадочные породы низкой и средней прочности, которые подверглись некоторой степени изменения, но все еще сохраняют достаточную непрерывность для проведения значимой геомеханической оценки.

Таким образом, хотя значение V_p может отражать ограниченное качество горного массива, оно все еще предоставляет надежные входные данные для оценки параметров деформации и других механических свойств в анализах горной механики.

Таблица 3.1- Сводка результатов геофизических исследований

Проф иль №.	Местополо жение	Геологическая зона	Интервал глубины (м)	V _p (м/с)	V _s (м/с)	μ	E _y (МПа)	E _d (МПа)	K ₀
1	Неизвестно	Местоположени е неизвестно	0 – 3.6	1790	613	0.39	2291	215	
			> 3.6	2438	850	0.43	4725	443	
2	Правый берег	Смытый склоновый материал	0 – 3.2	518	276	0.29	313	30	
			> 3.2	1163	445	0.41	1089	102	
3	Неизвестно	Далеко от плотины	---	2435	841	0.41	4624	433	
4	Левый берег (зона плотины)	Литологическая единица N1	0 – 8.4	1074	408	0.41	885	83	
			> 8.4	2818	980	0.43	6514	610	
5*	Правый бе- рег (зона плотины)	50% N2 + 50% N3 Литологическая единица	0 – 2.8	2001	825	0.40	4140	388	
			> 2.8	2625	989	0.42	6447	604	
6*	Правый берег (зона плотины)	33% N2 + 67% N3 Литологическая единица	0 – 3.7	1956	756	0.41	3514	329	
			> 3.7	2639	903	0.43	5418	508	19
7	Правый берег (машинный зал)	N3 Литологическая единица	0 – 2.9	2040	667	0.41	2800	262	29
			> 2.9	2811	881	0.43	5289	495	
8*	Правый берег (зона плотины)	N2 Литологическая единица	0 – 2.5	1107	526	0.35	1423	134	
			> 2.5	2817	1074	0.41	7696	721	
9	Левый берег (ниже по те- чению)	50% N1 + 50% N2 Литологическая единица	0 – 6	1443	567	0.39	1843	173	
			> 6	2559	890	0.43	5255	492	
10	Правый бе- рег (выше по течению)	N3 Литологическая единица	0 – 3.7	2170	744	0.41	3541	332	20
			> 3.7	3847	1374	0.42	13641	1277	74

* Эти профили расположены почти на месте испытаний на сжатие в открытом воздухе и в галерее.

Некоторые экспериментальные диаграммы, представленные Бротонсом и др., иллюстрируют корреляцию между скоростью Р-волны (V_p) и статическим модулем деформации. Согласно этим корреляциям, V_p **равная 2,7 км/с**, соответствует модулю деформации **при- мерно 5,0 ГПа**, что указывает на относительно **слабый горный массив** (Рисунок 3.10).

Стоит отметить, что оцененный модуль согласуется с результатами испытаний на сжатие, проведенных на площадке плотины, особенно в зонах невыветрелых пород, что обеспечивает полезную валидацию (подтверждение) геофизических данных. Эта корреляция будет более подробно рассмотрена в следующем разделе.

Кроме того, геофизические исследования выявили выветренный слой породы тол- щиной от **2,5 до 8.4 м**, что хорошо согласуется с данными из скважин, указывающими на глубину выветривания **от 3 до 10 метров** на правом и левом устоях соответственно.

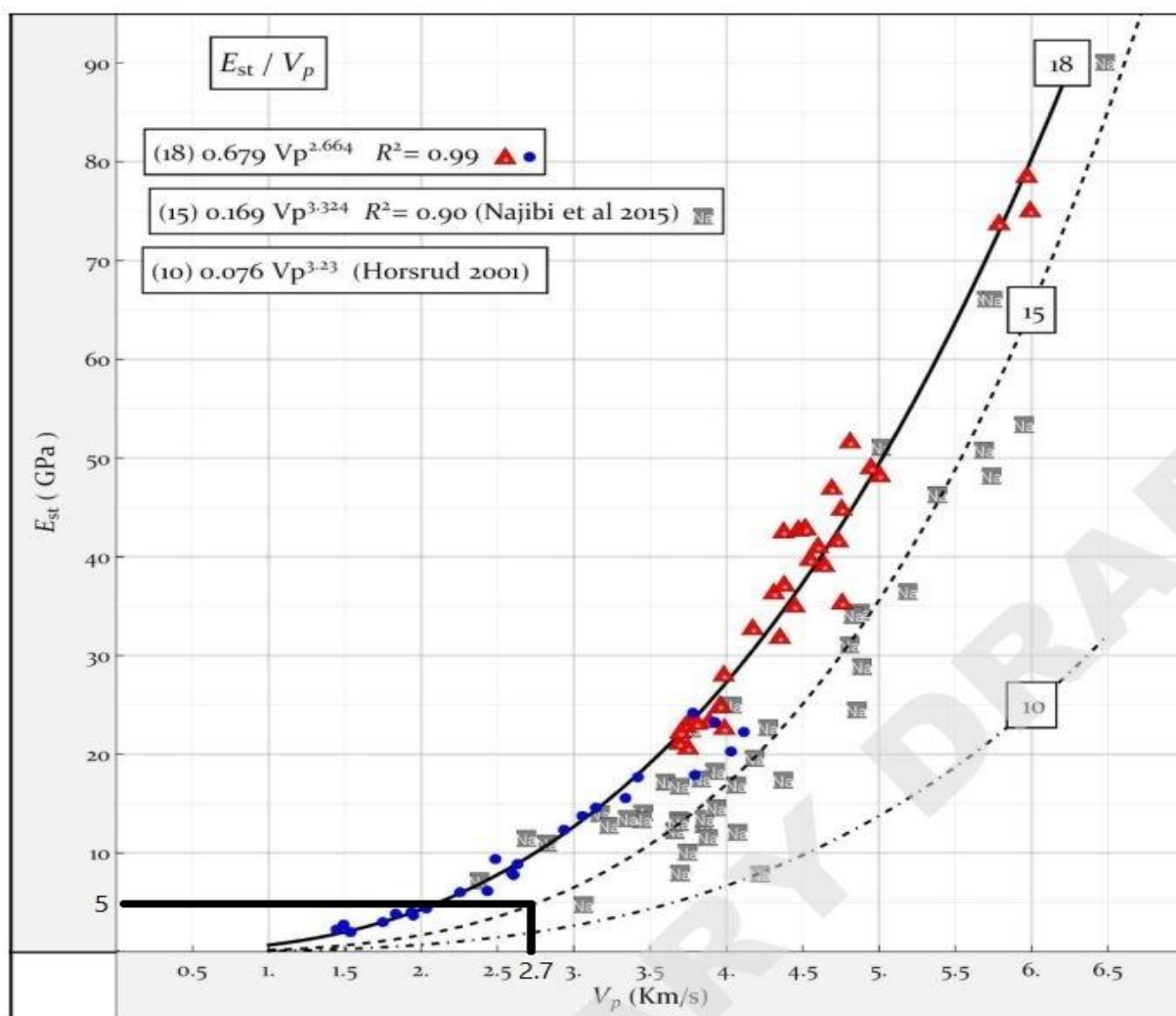


Рисунок 3.10- Кривая соответствия экспериментальных данных, полученная методом регрессии (Уравнение 18) и из предыдущего исследования 491 (Уравнения 10 и 15)

(По материалам В. Бротонса, Р. Томаса, С. Иворры, А. Гредиаги, Дж. Мартинеса-Мартинеса, Д. Бена-венте, М. Гомеса-Хераса, 2016)

E_{st} = Статический модуль. V_p = Скорость Р-волны

3.3. Выводы и рекомендации

3.3.1. Основные выводы

Основные выводы по инженерно-геологической обстановке проекта Пскемской ГЭС можно обобщить следующим образом:

- Коренные породы в исследуемой области состоят из толстой последовательности **неогеновых красных слоев**. На основе литологических характеристик, наблюдаемых в обнажениях на площадке плотины, а также геологических журналов разведочных скважин, выделено пять различных **стратиграфических единиц (N0–N4)**.
- В геотехнических классификациях эта последовательность красных слоев считается типичной для **отложений типа флиша** и обычно классифицируется как **мягкая порода**.

- Ключевая особенность неогеновых литологий на площадке — **изменчивость типов пород как в латеральном** (в пределах слоев), так и в вертикальном (между слоями) направлениях. Эта неоднородность должна учитываться во всех инженерных классификациях и проектных работах.
- Несмотря на ограничения в данных по проницаемости и уровню грунтовых вод (УГВ), предыдущий опыт и инженерные суждения предполагают, что горный массив обладает **низкой или очень низкой проницаемостью**, за исключением **толстых конгломератных и песчаниковых секций (слоев)**, которые могут демонстрировать **среднюю или высокую проницаемость**. Эта характеристика в целом благоприятна для основания плотины и герметизации водохранилища. Выбор подходящего метода водонепроницаемости — **цементационной завесы или отсекающей стены** — должен основываться на испытательных цементационных тестах. Общая глубина водонепроницаемого элемента ожидается в диапазоне **50–60 метров**.
- **Низкое качество керновых образцов**, полученных из скважин, в значительной степени связано с использованием **однотрубных керновых колонок**, которые не подходят для исследовательских работ в горных массивах. Негативное влияние этого метода бурения сильнее выражено в более **слабых (мягких) породах по сравнению с более прочными (твердыми) породами**.
- Значительная толщина делювия присутствует на обоих примыканиях, что представляет важное геотехническое и геологическое значение. Была подготовлена **карта коренных скальных пород**, иллюстрирующая толщину.
- **Крупных разломов** на площадке плотины не выявлено. Обнаружены только мелкие разломы с **надвиговыми или нормальными** механизмами, некоторые из которых имеют полированные поверхности. Смещения вдоль этих плоскостей разломов незначительны (ограничены несколькими метрами), и крупных зон трещиноватости или сдвига не обнаружено.
- Согласно предыдущим геофизическим исследованиям, средняя скорость Р-волны (V_p) для невыветрелого неогенового горного массива составляет примерно **2700 м/с**. Хотя это значение характерно для мягких пород, оно соответствует **статическому модулю деформации** в диапазоне **4–5 ГПа**, что согласуется с ожиданиями для **надежных пород этого типа**.

3.3.2. Рекомендации

Рекомендации для будущих работ можно предложить следующим образом:

- **Пробурить новый набор разведочных скважин** для получения обновленных данных о подземных условиях для разработки базового и детального проектов. Эти скважины должны включать:
 - Тестирование проницаемости с использованием тестов Люжона.
 - Измерения индекса качества породы (RQD) по всей глубине коренных пород.

- **Мониторинг уровней грунтовых вод** во всех скважинах и выделить отдельные скважины для сохранения в качестве **пьезометров** для долгосрочного наблюдения.
- Все будущие разведочные бурения должны использовать **двухтрубные или трехтрубные керновые колонки** для минимизации нарушения керна и повышения надежности геологических и геотехнических оценок.
- **Провести испытательные цементационные испытания** как минимум в двух местах — в частности, на левом и правом устоях — для оценки характеристик **цементируемости коренных пород**.

Учитывая критическое влияние этих результатов на **проектирование системы водонепроницаемости** (например, цементационной завесы или отсекающей стены), эти тесты должны проводиться под строгим надзором опытных специалистов по цементации.

4. ОЦЕНКА МЕХАНИКИ ГОРНЫХ ПОРОД

4.1. Введение

Площадка плотины Пскем расположена в неогеновых геологических формациях, которые в основном состоят из алевролитов, чередующихся с песчаниками, микроконгломератами и редкими слоями мергелей — типичных для мелководной морской осадочной среды.

С геотехнической точки зрения, эти формации классифицируются как мягкие породы, характеризующиеся свойствами, которые трудно определить с использованием стандартных методов испытаний грунтов или горных пород. Они проявляют поведение, промежуточное между грунтами и твердыми породами, что делает их особенно сложными для характеристики как в лабораторных, так и в полевых условиях.

Из-за их сложной структуры, изменчивых свойств материала и осадочной среды, кластические осадочные мягкие породы представляют значительные вызовы в геотехническом проектировании. Это особенно критично при строительстве плотин, где их механическое поведение — в частности, в плане прочности и деформируемости — может значительно варьироваться с изменениями содержания воды и со временем.

Для лучшего понимания характеристик основания и оценки его пригодности для гравитационной плотины из укатанного бетона (RCC) был проведен всесторонний анализ на основе:

1. **Результатов лабораторных испытаний** образцов из глубоких скважин в естественных и насыщенных условиях;
2. **Результатов натурных испытаний на сжатие** (штамповых тестов) для оценки деформируемости в масштабе;
3. **Результатов геофизических исследований** для оценки непрерывности подповерхностных слоев и механических параметров.
4. Классификации горного массива на основе метода **GSI**.

4.2. Анализ результатов лабораторных испытаний

4.2.1. Бурение и извлечение керна из скважин

Обзор журналов скважин указывает на значительную изменчивость в извлечении керна. К сожалению, в большинстве скважин отсутствует информация об индексе качества породы (RQD), что вызывает опасения относительно качества и целостности слабых материалов, с которыми столкнулись.

Общее низкое извлечение керна, вероятно, связано с использованием однотрубных керновых колонок, которые не подходят для гетерогенных и слабых грунтовых условий на площадке плотины Пскем. Этот неподходящий метод бурения, вероятно, также снизил надежность результатов лабораторных испытаний, полученных из этих нарушенных образцов.

4.2.2. Прочность на одноосное сжатие

Более 300 образцов были испытаны в лаборатории с материалом, извлеченным из скважин C-3, C-4, C-6, C-8, C-9, C-10, C-11, C-12, C-13 и C-14, которые все расположены вблизи предполагаемой оси варианта плотины с бетонным экраном CFRD.

Анализ журналов образцов из вышеуказанных скважин дает первоначальное представление об условиях грунтового массива на площадке плотины Пскем. Предварительные выводы следующие:

- Журналы скважин С-3, С-11 и С-12 — расположенных на **левом и правом концах оси плотины с бетонным экраном CFRD** — указывают, что горный массив имеет среднюю сухую плотность (γ_t) менее 23 кН/м³. Эти области также демонстрируют низкую прочность на одноосное сжатие как при естественной влажности (UCS_n), так и при насыщении (UCS_{sat}), обычно с $UCS_n < 3$ МПа и $UCS_{sat} < 1$ МПа, иногда достигая 0 МПа.
- Журналы скважин С-9, С-13 и С-14 — расположенных в **центре долины** — показывают, что горный массив имеет более высокую среднюю сухую плотность ($\gamma_t > 23$ кН/м³) и значительно лучшую прочность на одноосное сжатие, с $UCS_n > 6$ МПа и $UCS_{sat} > 3$ МПа.
- Скважины С-4, С-6, С-8 и С-10 представляют смешанный набор характеристик, с свойствами грунтового массива, находящимися между характеристиками концов и центра долины.
- В целом, **качество грунтового массива на левом берегу кажется немного хуже, чем на правом берегу.**
- **Наивысшее качество грунтового массива наблюдается в донной части долины.**

Прочность на одноосное сжатие при естественном содержании воды и в полностью насыщенных условиях указана как функция пористости на Рисунке 4.1. На представленных графиках наблюдается, что прочность на одноосное сжатие сильно зависит от содержания воды в материале. При насыщении все образцы показывают значительное снижение прочности на одноосное сжатие. Кроме того, когда пористость материала меньше 12%, он демонстрирует сопротивление выше 2 МПа при полном насыщении. Учитывая результаты всех образцов, мы получаем средние значения для UCS_n и UCS_{sat} , как указано в Таблице 4.1. Соответственно, UCS_n варьируется от 4,8 до 8,5 МПа, а UCS_{sat} — от 1,9 до 3,9 МПа; при этом в литературе нижний предел прочности на одноосное сжатие для мягких или очень мягких пород, по мнению нескольких авторов, составляет 2 МПа, а верхний — около 20 МПа.

Модуль деформации для неповрежденного образца породы можно оценить, зная его неповрежденную прочность, используя коэффициент модуля породы (MR), как указано в Таблице 4.2, предложенной Хуком, Э. и Дидерихсом, М.С. (2006). Соответственно, учитывая коэффициент MR в диапазоне 250–350, модуль деформации, E_i , для неповрежденного образца породы при естественном содержании воды можно оценить, как показано в Таблице 4.1.

Таблица 4.1- Средние значения для UCS_n и UCS_{sat} , распределенные по четырем единицам ИГЭ-4 – ИГЭ-7

Массивы пород	Левый берег		Центральная часть		Правый берег		Обобщенные значения	
	UCS_n (МПа)	UCS_{sat} (МПа)	UCS_n (МПа)	UCS_{sat} (МПа)	UCS_n (МПа)	UCS_{sat} (МПа)	UCS_n (МПа)	UCS_{sat} (МПа)
ИГЭ-4	3.7	1.3	5.8	2.2	11.8	5.6	5.5	2.2
ИГЭ-5	4.8	1.8	-	-	8.3	3.9	7.5	3.5
ИГЭ-7	6.1	2.6	8.7	4.0	5.6	2.4	7.2	3.1
Среднее UCS	4.8	1.9	7.3	3.1	8.5	3.9	6.7	2.9
E_i (Модуль деформации неповрежденной породы - МПа)	1200 - 1680 (1440)	475 - 665 (570)	1825 - 2555 (2190)	775 - 1085 (930)	2125 - 2975 (2550)	975 - 1365 (1170)	1675 - 2345 (2010)	725 - 1015 (870)

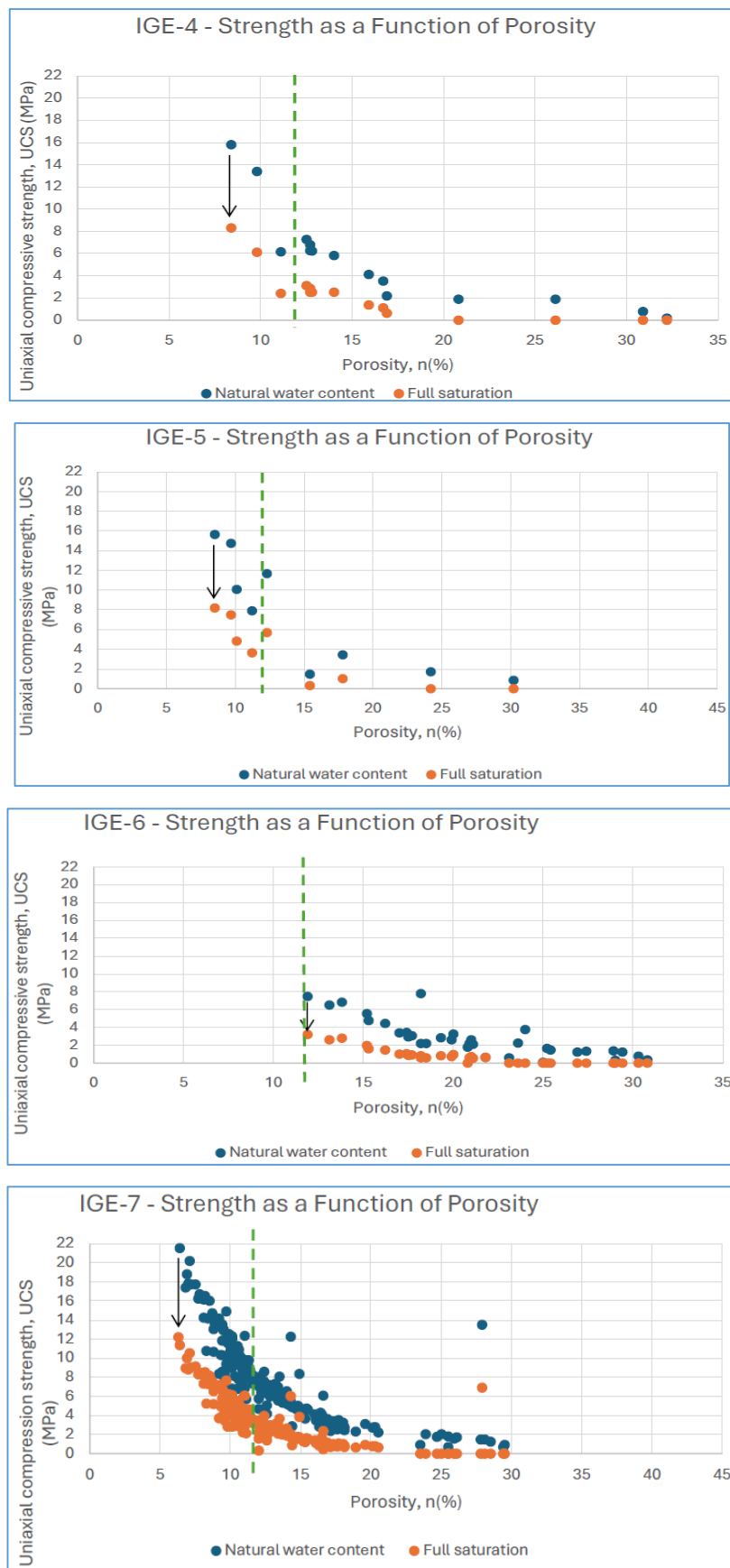


Рисунок 4.1- Прочность на одноосное сжатие как функция пористости для неповрежденной образцова породы

Таблица 4.2- Коэффициент модуля породы ($MR = E_i / UCS_{sat}$) для класических осадочных пород (Хук и Дидерихс, 2006)

Rock type	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
Sedimentary	Clastic		Conglomerates 300–400	Sandstones 200–350	Siltstones 350–400	Claystones 200–300
			Breccias 230–350		Greywackes 350	Shales 150–250 ^a Marls 150–200
	Non-clastic	Carbonates	Crystalline limestones 400–600	Sparitic limestones 600–800	Micritic Limestones 800–1000	Dolomites 350–500
		Evaporites		Gypsum (350) ^b	Anhydrite (350) ^b	
		Organic				Chalk 1000+

4.3. Результаты натурных штамповых испытаний

Два набора по шесть испытаний, каждый на деформируемость и сдвиг в натурных условиях («штамповые» испытания), были проведены на площадке плотины в двух близко расположенных друг к другу областях:

- (1) на открытом воздухе вдоль правого берега реки, и
- (2) под землей в штольне, близко к области на открытом воздухе.

Целью этих испытаний было измерение натурального модуля деформации, модуля упругости и результирующего сопротивления сдвигу как функции приложенного нормального напряжения на насыщенный водой горный массив.

Испытания, проведенные на открытом воздухе, пронумерованы от № 1 до №6; расстояние между ними составляет примерно 3–4 м. Речные отложения были удалены перед выемкой ям, поверхность которых была тщательно зафиксирована. Испытания в галерее пронумерованы от № 7 до №12, причем испытание № 7 находится в конце галереи длиной 50 м, а № 12 — примерно в 30 м от портала. Ямы размером около 2 м на 2 м с глубиной примерно 70 см были выкопаны перед заливкой бетонного блока размером 70x70x70 см на верхнюю поверхность породы.

Каждое штамповое испытание проводилось с пятью циклами нагружения-разгружения с шагами от 0,5 до 1 МПа в течение примерно одного дня. Максимальное напряжение, достигнутое в первом цикле, составляет 1 МПа, затем 2 МПа для второго цикла и так далее, до 5 МПа для пятого цикла. На каждом шаге регистрировались приложенное вертикальное напряжение и результирующее вертикальное смещение горного массива.

Поскольку каждое испытание длилось менее 24 часов, можно определить только **мгновенный модуль деформации, E_{rm} , и модуль упругости, E_i** . Поэтому поведение горного массива, зависящее от времени, известное как ползучесть, не исследовалось. Предполагая, что порода представляет собой однородное бесконечное полупространство из эластичного изотропного материала, используется стандартная **формула (4.1)**:

$$E_{rm}, E_i = b w (1 - \nu^2) \Delta \sigma / \Delta s \quad (4.1)$$

где: b — ширина бетонного основания, $b = 700$ мм;

w — коэффициент, $w = 0,88$ для жесткой квадратной плиты размером $0,70 \text{ м} \times 0,70 \text{ м}$, использованной [10, 11];

ν — коэффициент Пуассона, принят равным $0,25$. Отметим, что выбор другого значения для ν оказывает незначительное влияние;

$\Delta\sigma$ — приращение приложенного напряжения, в МПа;

Δs — измеренное вертикальное смещение, в мм;

с учетом заданных значений формула записывается как:

$$E_{gm}, E_i = 577.5 \Delta\sigma / \Delta s \quad (4.2)$$

Модуль деформации, полученный из штамповых испытаний, можно интерпретировать следующим образом:

- **начальный (до текучести) модуль деформации горного массива, E_{gm} , и**
- **модуль деформации после текучести (или от пика к пику), обозначенный как Γ (or D_{pp}).**

Полная характеристика деформируемости горного массива должна учитывать **постоянную деформацию**, которая возникает при любом уровне приложенного напряжения. Эта деформация количественно определяется **постоянным модулем**, обозначенным как **M** , который представляет собой необратимую деформацию в горном массиве после полного снятия приложенного напряжения.

Рисунок 4.2 иллюстрирует процедуру определения постоянного модуля M , определенного как отношение приложенного напряжения к **остаточной (постоянной или необратимой) деформации**, наблюдаемой после разгрузки напряжения до нуля.

Вместе следующие три модуля описывают поведение сжимаемости горного массива:

$$1/E_{gm} = 1/E_i + 1/M \quad (4.3)$$

где: E_{gm} общий модуль деформации горного массива;

E_i модуль упругой деформации

M постоянный модуль деформации.

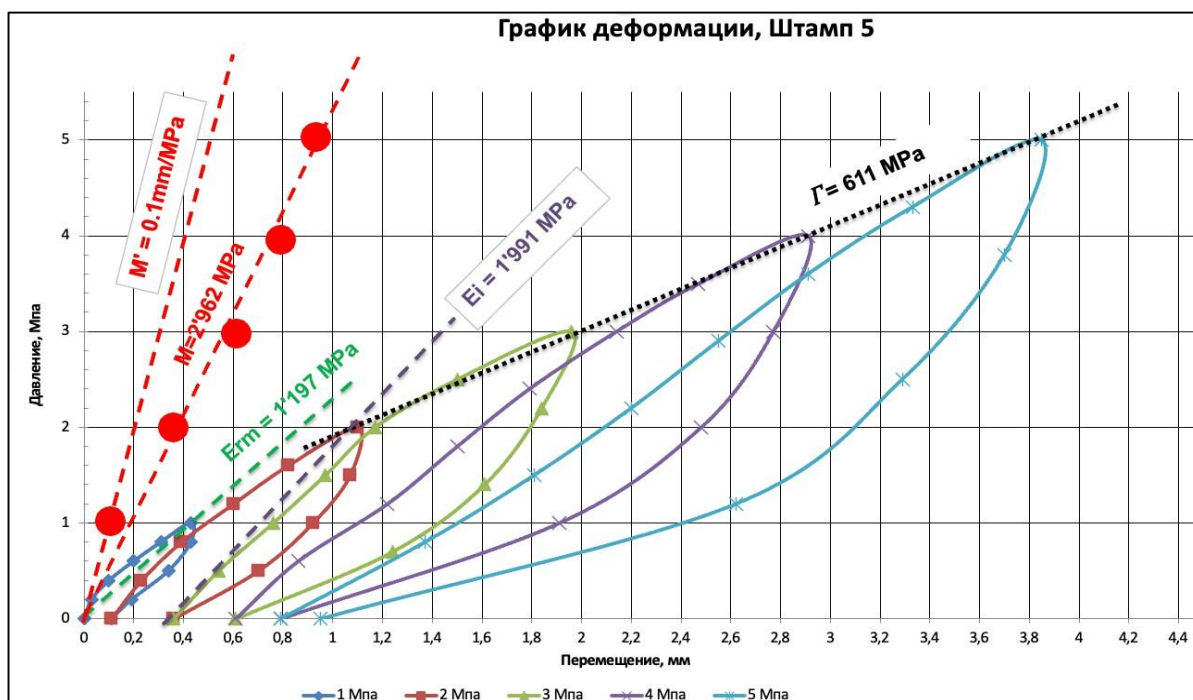


Рисунок 4.2- Иллюстрация четырех модулей деформации горного массива

(График испытания №5 жестких штамповых испытаний, проведенных на площадке плотины Пскем),

где: E_{rm} модуль деформации до текучести, $E_{rm} = 1197$ МПа,
 M постоянный модуль деформации, $M = 2962$ МПа,
 G модуль деформации после текучести от пика к пику, $G = 611$ МПа
 E_i модуль упругой деформации, $E_i = 1991$ МПа

Интерпретация штамповых испытаний таким образом отличается от той, что представлена в технико-экономических обоснованиях. Она предоставит несколько более низкие значения для E_{rm} , что находится на безопасной стороне при рассмотрении основания для плотины из укатанного бетона. С определением постоянного модуля деформации, M , этот подход обеспечивает согласованность между модулями деформации.

Этот постоянный модуль деформации горного массива, M , является важным параметром, так как он будет использоваться позже при оценке горного массива как основания для бетонной плотины. Чем выше значение M , тем более компактный и менее трещиноватый горный массив, тем ближе значения E_{rm} и E_i . Другими словами, если горный массив массивный, значение M очень высокое; если горный массив нарушен, то есть содержит трещины, значение M низкое.

Таблицы 4.3 и 4.4 суммируют результаты, полученные при переинтерпретации жестких штамповых испытаний № 1–6 на открытом воздухе и № 7–12 в галерее. Соответственно, **средний модуль деформации горного массива в насыщенных условиях оценивается как 2042 МПа и 3482 МПа** для испытаний на открытом воздухе и в галерее соответственно. Наблюдаемые средние значения деформируемости горного массива, полученные в галерее, значительно выше. Эта разница может быть объяснена тем, что горный массив в русле реки кажется более измененным (выветренным), чем в изыскательской штольне (галерее).

Таблица 4.3- Интерпретация штамповых испытаний на открытом воздухе - Модули деформации в насыщенном горном массиве

№. Испытания	1	2	3	4	5	6	Среднее знач.
E_{rm} (МПа)	3 375	2 202	2 928	987	1 197	1 566	2 042
G (МПа)	2 344	1 688	1 851	696	611	1 060	1 375
M (МПа)	12 940	4 984	5 006	2 711	2 962	3 946	6 510
E_i (МПа)	4 588	4 022	5 229	1 500	1 991	2 599	3 322

Таблица 4.4- Интерпретация штамповых испытаний в галерее - Модули деформации в насыщенном горном массиве

№. Испытания	7	8	9	10	11	12	Среднее знач.
E_{rm} (МПа)	1 328	3 303	6 589	3 564	1 482	4 627	3 482
G (МПа)	1 204	2 625	4 813	3 825	1 375	3 730	2 929
M (МПа)	5 534	6 417	14 817	7 219	3 480	21 724	9 865
E_i (МПа)	1 821	6 818	11 263	6 818	2 827	5 769	5 886

Стоит отметить, что при значении $E_i = 5900$ МПа насыщенная прочность на одноосное сжатие, UCS_{sat} , материала должна быть в порядке **16–24 МПа**, предполагая $MR = 250 - 350$ соответственно. Эти ожидаемые расчетные значения значительно выше, чем те, что указаны в результатах лабораторных испытаний.

4.4. Результаты геофизических исследований

Результаты геофизических исследований, ранее рассмотренные в главе 3 (см. Таблицу 3.1), обобщены в Таблице 4.5, которая представляет данные, соответствующие выветрелым и **невыветрелым горным массивам** на левом и правом устоях плотины. Как показано, модули упругости невыветрелых горных массивов на обоих устоях сравнимы — **6,52 ГПа** для левого устоя и **5,89 ГПа** для правого устоя.

Однако в **поверхностной выветрелой зоне** наблюдается значительная разница: модуль упругости на **левом устое** значительно ниже, чем на **правом** (1,36 ГПа против 3,03 ГПа). Это предполагает более **высокую степень выветривания на левом берегу**, вероятно, из-за его **пологого или плоского склона**, что способствует увеличению инфильтрации поверхностных вод и длительным процессам выветривания.

Таблица 4.5- Сводка результатов геофизических исследований на левом и правом устоях плотины

Местонахождение	Геофизический профиль	Выветрелая зона				Невыветрелая зона			
		V_p (м/с)	V_s (м/с)	E_y (МПа)	E_d (МПа)	V_p (м/с)	V_s (м/с)	E_y (МПа)	E_d (МПа)
Left Abutment	4 & 9	1 258	488	1 364	128	2 688	935	5 885	551
Right Abutment	5, 6 & 8*	1 688	702	3 026	284	2 694	989	6 520	611

* Эти профили расположены почти на месте штамповых испытаний на открытом воздухе и в галерее.

4.5. Характеристика горного массива методом GSI

4.5.1. Оценка значений GSI для неогеновых пород Пскема

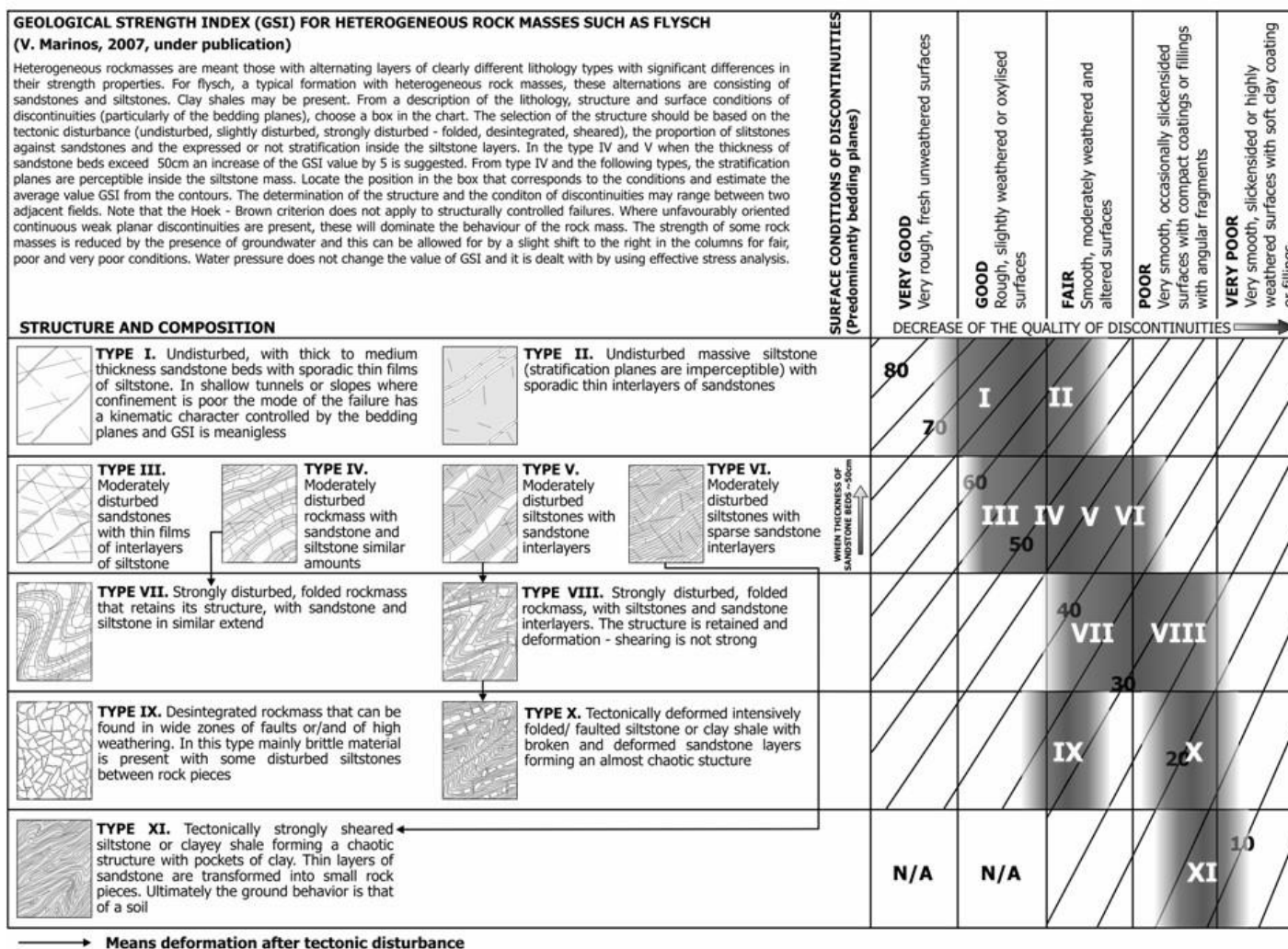
На основе геологического описания и наблюдений площадки плотины Пскем, сделанных во время выезда на площадку, типичный кластический (обломочный) грунтовый массив демонстрирует пространственное чередование слоев, состоящих из песчаников, алевролитов, микроконгломератов, мергелей и брекчий, с **преобладанием алевролитов**. Инженерные геологи, работающие с этими гетерогенными осадочными горными массивами, обычно называют их формациями «**молассы**» или «**флиша**» (как указано в Таблице 4.6), которые потребуют особого изучения на стадии базового и детального проектирования при использовании в качестве основания плотины.

Кроме того, **региональное тектоническое сложение**, подробно описано в других частях этого отчета, подтверждает классификацию формации, встреченной на площадке плотины Пскем, как **флиш**.

**Таблица 4.6- Кластические осадочные породы, которые могут характеризовать
горный массив в основании плотины**

Моласса	Чередование песчаников с алевролитами (наиболее распространенное). Разнообразная неоднородность. Наличие элементов с низкой прочностью/потенциал ослабления при воздействии
Флиш	Наиболее распространены чередования песчаников с алевролитами. Разнообразная неоднородность. Наличие элементов с низкой прочностью. В отличие от молассы тектонически нарушенные структуры (структурная сложность в пространстве из-за складчатости и наличия разрозненных тектонических зон и слоев). Сохранение несплошностей с низкой прочностью в глубине

Пригодность горного массива для целей основания плотины может быть оценена с использованием **Геологического индекса прочности (GSI)**, который определяется на основе двухвходовой диаграммы, представленной на Рисунке 4.3. Значения GSI оцениваются путем сначала оценки структуры и литологического состава горного массива (первый вход), а затем состояния поверхности трещин (второй вход).



N/A -означает геологически невозможную комбинацию. В незатененных областях такие горные массивы найти не невозможно, но это очень необычно.

Рисунок 4.3. Геологический индекс прочности (GSI) для слабых гетерогенных горных массивов типа «флиш»

Согласно диаграмме классификации GSI (Рисунок 4.1), **неогеновые единицы**, встреченные на площадке плотины Пскем, могут быть классифицированы следующим образом:

- Неогеновые единицы **N₀** и **N₁** (левый берег): Эти единицы преимущественно состоят из красных до коричнево-красных алевролитов, чередующихся со слоями песчаников и мергелей. Они, вероятно, классифицируются как «**Тип VI**», с диапазоном **GSI от 35 до 45**. Среди них единица **N₁**, как правило, демонстрирует немного более высокий GSI, чем **N₀**, отражая ее сравнительно лучшее структурное состояние.
- Неогеновая единица **N₂** (центр долины): характеризуется микроконгломератами, осадочными брекчиями и песчаными алевролитами, эта единица, вероятно, соответствует «**Типу V**», с предполагаемым диапазоном **GSI от 40 до 50**.
- Неогеновая единица **N₃** (правый берег): состоит из чередующихся слоев алевролитов, песчаников и песчаных алевролитов, эта единица также соответствует «**Типу V**», с аналогичными значениями **GSI в диапазоне от 40 до 50**.
- Неогеновая единица **N₄** (правый берег): состоит из плохо сцементированных микроконгломератов с песчаными текстурами, демонстрирующих слегка выветренные условия и среднюю прочность, эта единица лучше всего классифицируется как «**Тип IV**», с диапазоном **GSI от 45 до 50**.

4.5.2. Оценка модуля деформации

Формула Хука и др. (2002):

Хук и др. (2002) предложили уравнение, которое учитывает такие параметры, как Геологический индекс прочности (**GSI**), прочность на одноосное сжатие неповрежденной породы (**UCS** или **σ_{ci}**) и фактор нарушения (**D**). Это уравнение показало многообещающие результаты в различных исследованиях и приложениях. Уравнение, предложенное Хуком и др. (2002), имеет следующий вид (**E_m в ГПа**):

Хук и др. (2002) представили эмпирическое уравнение для оценки модуля деформации горного массива (**E_m**), которое учитывает Геологический индекс прочности (**GSI**), прочность на одноосное сжатие неповрежденной породы (**σ_{ci}** или **UCS**) и фактор нарушения (**D**). Это уравнение показало надежные результаты в ряде геотехнических приложений. Общая форма уравнения (с **E_m в ГПа**) следующая:

$$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{(GSI - 10)}{40}\right)} \quad (4.4)$$

Фактор нарушения (**D**) отражает степень повреждения из-за взрывных работ или релаксации напряжений, с типичными значениями от 0 (ненарушенный горный массив) до 1 (сильно нарушенный или взорванный). Для оснований плотин, подготовленных с использованием гладкого взрыва, можно рассмотреть **типичное значение D в диапазоне от 0,1 до 0,3**.

Уравнения Хука и Дидерихса (2006):

Хук и Дидерихс (2006) предложили две альтернативные формулировки для оценки модуля деформации горного массива (E_{rm}), которые с тех пор стали широко применяться в практике механики горных пород и геотехнического проектирования.

Первое уравнение (с использованием E_i):

Эта формулировка включает модуль упругости неповрежденной породы (E_i), а также **GSI** и фактор нарушения (**D**):

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right) \quad (4.5)$$

Второе уравнение (независимое от E_i):

Когда E_i неизвестен или трудно определить, Хук и Дидерихс рекомендуют следующее уравнение:

$$E_{rm}(\text{МПа}) = 100,000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right) \quad (4.6)$$

Оцененные значения модуля деформации породы на основе различных уравнений определены для условий естественной влажности и насыщения, как указано в Таблицах 4.7 и 4.8 соответственно.

Оцененные значения модуля деформации (E_{rm}) в условиях естественной влажности и насыщения были рассчитаны с использованием этих уравнений и представлены в Таблицах 4.7 и 4.8 соответственно.

Таблица 4.7- Модуль деформации породных единиц N0–N4 на основе метода GSI (естественная влажность)

Неогеновая единица	Position	UCS (МПа)	E_i неповрежденной породы (МПа)	Фактор нарушения	Среднее значение GSI	E_{rm} (МПа)		
						Хук 2002	Хук и Дидерихс (1)	Хук и Дидерихс (2)
N ₀ и N ₁	Левый берег	4.8	1 440	0.2	40	1 109	171	2 310
N ₂	Центр долины	7.3	2 190	0.2	45	1 823	365	3 587
N ₃ и N ₄	Правый берег	8.5	2 550	0.2	45	1 968	425	3 587

Таблица 4.8- Модуль деформации породных единиц N0–N4 на основе метода GSI (насыщенные условия)

Неогеновая единица	Position	UCS (МПа)	E_i неповрежденной породы (МПа)	Фактор нарушения	Среднее значение GSI	E_{rm} (МПа)		
						Хук 2002	Хук и Дидерихс (1)	Хук и Дидерихс (2)
N ₀ и N ₁	Левый берег	1.9	570	0.2	40	698	68	2 310
N ₂	Центр долины	3.1	930	0.2	45	1 188	155	3 587
N ₃ и N ₄	Правый берег	3.9	1 170	0.2	45	1 333	195	3 587

4.6. Испытания на сдвиг

Испытания на сдвиг, проведенные на правом устое (в месте штамповых испытаний), дают результаты, которые считаются корректными.

Следующие значения были выбраны для кажущегося сцепления и угла трения как пиковые и остаточные значения соответственно:

$$C_{p,app} = 0.30 \text{ МПа} \quad , \quad \phi_p = 42^\circ$$

$$C_{res,app} = 0.28 \text{ МПа} \quad , \quad \phi_{res} = 37^\circ$$

Эти значения могут быть присвоены горному массиву основания в центре долины и на правом устое и должны учитываться при оценке устойчивости центральной секции плотины.

4.7. Выводы и рекомендации

Для определения геомеханических параметров основания плотины были тщательно рассмотрены наблюдения на площадке, геофизические исследования, а также результаты как натурных, так и лабораторных испытаний. Однако эти источники представляют две противоречивые точки зрения. С одной стороны, наблюдения на площадке, геофизические исследования и натурные испытания - а именно штамповые и прямые испытания на сдвиг - предполагают, что геомеханические параметры горного массива относительно низкие, но находятся в пределах допустимых значений для основания плотины из укатанного бетона (RCC). С другой стороны, лабораторные испытания, проведенные на образцах при естественной влажности и полном насыщении, дают иногда противоречивые результаты.

Лабораторные данные — в частности, значения прочности на одноосное сжатие (UCS) — демонстрируют значительную изменчивость и подлежат дополнительной проверке и уточнению на стадии разработки детального проекта. Примечательно, что использование однотрубного бурения в более ранних исследованиях оказалось неподходящим для геотехнической характеристики таких мягких пород. Образцы часто подвергались воздействию буровой воды и во многих случаях были частично или полностью вымыты, что подорвало их качество и репрезентативность. Дополнительные факторы, такие как транспортировка и подготовка образцов, могли также способствовать наблюдаемым несоответствиям.

Значения UCS, полученные в результате лабораторных испытаний, в целом находятся в нижней части диапазона значений, указанных в технической литературе. Аналогично, оценки модулей упругости и деформации, полученные из этих испытаний, значительно отклоняются от установленных эталонных значений и не считаются надежными для инженерных оценок.

Учитывая критическую роль модуля деформации в оценке пригодности основания для плотины RCC, в Таблице 4.9 представлена сводка значений модуля, оцененных с использованием различных методик.

Интерпретация данных в Таблице 4.9 позволяет сделать следующие наблюдения:

► **Сравнение результатов геофизических исследований и штамповых испытаний:**

- Оцененные значения модуля упругости двумя методами для выветрелых и невыветрелых зон соответствуют: 3026 МПа и 3322 МПа для выветрелой зоны и 6520 МПа и 5886 МПа для невыветрелой зоны.
- В отличие от этого, значения модуля деформации, указанные в геофизических исследованиях, значительно ниже, чем те, что получены в штамповых испытаниях: 284 МПа против 2042 МПа для выветрелой зоны и 611 МПа против 3482 МПа для невыветрелой зоны.
- Учитывая надежность и прямой характер штамповых испытаний, полученные значения модуля деформации приняты как приоритетные при определении проектных параметров для основания плотины RCC. Заметно низкие значения модуля деформации, указанные в геофизических исследованиях, предполагают потенциальные методологические или интерпретационные проблемы. Поэтому настоятельно рекомендуется дополнительно пересмотреть эти результаты и, при необходимости, перекалибровать их с использованием эмпирических корреляций или подтвердить дополнительными натурными испытаниями.

Таблица 4.9 – Сводные результаты оценки модуля упругости и деформации горного массива (в МПа)

Позиция	Геофизические исследования (естественная влажность)				Штамповые испытания (насыщенные условия)				Метод на основе GSI* (Хук и др. 2002, Хук и Дидерихс 2006, Уравнения 1 и 2)					
	Выветрелая зона		Невыветрелая зона		Выветрелая зона		Невыветрелая зона		естественная влажность			насыщенные условия		
	E _y (E _i)	E _d (E _{rm})	E _y (E _i)	E _d (E _{rm})	E _i	E _{rm}	E _i	E _{rm}	Хук 2002	Хук и Дидерихс (1)	Хук и Дидерихс (2)	Хук 2002	Хук и Дидерихс (1)	Хук и Дидерихс (2)
Левый берег	1 364	128	5 885	551	---	---	---	---	1 109	171	2 310	698	68	2 310
Центр	---	---	---	---	---	---	---	---	1 823	365	3 587	1 188	155	3 587
Правый берег	3 026	284	6 520	611	3 322	2 042	5 886	3 482	1 968	425	3 587	1 333	195	3 587

* Модуль деформации на основе метода GSI был оценен с использованием следующих уравнений:

Хук и др. (2002) (E _{rm} в ГПа):	$E_m = \left(1 - \frac{D}{2}\right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{\left(\frac{GSI - 10}{40}\right)}$	Учет GSI, UCS (σ _{ci}) и фактора нарушения (D)
Хук и Дидерихс (2006) – 1ое уравнение	$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}}\right)$	Учет модуля упругости неповрежденной (E _i), GSI и D
Хук и Дидерихс (2006) - 2ое уравнение	$E_{rm}(\text{МПа}) = 100,000 \left(\frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}}\right)$	Учет GSI и фактора нарушения (D)

► **Сравнение результатов штамповых испытаний и метода GSI:**

- Модуль деформации, полученный из штамповых испытаний для зоны невыветрелых пород, хорошо согласуется с оценками, полученными с использованием второго уравнения, предложенного Хуком и Дидерихсом (2006). Эта согласованность подтверждает правомерность предположений, сделанных при применении подхода на основе GSI для оценки деформируемости горного массива. Важно отметить, что второе уравнение Хука и Дидерихса не включает данные лабораторных испытаний, что дополнительно подчеркивает преимущество опоры на полевые наблюдения и эмпирическую характеристику.
- В рамках самого метода GSI использование корреляционных уравнений, включающих результаты лабораторных испытаний (в частности, значения UCS), приводит к значительно заниженным оценкам модуля деформации. Это снижение особенно выражено при применении первого уравнения Хука и Дидерихса, которое опирается на значения UCS, полученные из текущих лабораторных испытаний.
- Как обсуждалось ранее, это наблюдение подчеркивает сомнительную надежность лабораторных результатов. Вероятной причиной является нарушение образцов из-за использования однотрубного бурения, которое может привести к деградации образцов, насыщению водой и частичному или полному вымыванию, что в конечном итоге снижает точность испытаний.

► **Окончательная оценка модуля деформации горного массива**

- На основе всестороннего анализа и интерпретации всех доступных данных значения модуля деформации, оцененные с использованием второго уравнения, предложенного Хуком и Дидерихсом (2006), считаются наиболее надежными. Эти оценки согласуются с натурными испытаниями и наблюдениями на площадке и не зависят от переменных и часто ненадежных результатов лабораторных испытаний. Соответственно, модуль деформации горного массива оценивается примерно в **3,5 ГПа для правого берега и центра долины и около 2,3 ГПа для левого берега.**
- Тем не менее, крайне важно — и настоятельно рекомендуется — при разработке базового и детального проектов провести дополнительные целенаправленные исследования для уменьшения существующих неопределенностей и обеспечения того, чтобы окончательные проектные параметры основывались на надежных и высококачественных данных. Это обеспечит прочную основу для критически важных инженерных решений, касающихся работы основания плотины.

5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЛОТИНЫ И СОПУТСТВУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ

5.1. Введение

Учитывая относительно слабые условия горного массива основания на площадке плотины Пскем, проектирование и строительство **гравитационной плотины из укатанного бетона (RCC)** представляет значительные вызовы, особенно с точки зрения **безопасности плотины и ее долгосрочной работы**.

Международный опыт показывает, что **пригодность горного массива основания** для гравитационной плотины из укатанного бетона RCC средней высоты может быть оценена на основе отношения между **модулем упругости бетона плотины (E_c) и модулем деформации горного массива (E_{rm})**.

Это отношение E_c/E_{rm} использовалось как ключевой параметр для оценки потенциальных проблем с производительностью основания, таких как дифференциальная осадка, концентрация напряжений или взаимодействие плотины с конструкцией.

Канжи и др. (2020) собрали данные из нескольких международных примеров и выявили тенденции, связывающие **наблюдаемые проблемы с возможностями и эффективностью плотин** с определенными диапазонами отношения E_c / E_{rm} , как обобщено в Таблице 5.1

Таблица 5.1- Оценка производительности основания на основе отношения E_c/E_{rm}

Отношение E_c/E_{rm}	Ожидаемое поведение плотины	Интерпретация
< 5	Хорошая результативность; незначительная деформация основания	Модуль деформации горного массива относительно высок; жесткое основание
5 – 10	В целом приемлемо; могут возникать незначительные осадки	Требуется локальная обработка основания и мониторинг
10 – 20	Требуется осторожность; умеренные риски деформации	Необходимы укрепление основания и тщательная проработка конструктивных деталей
> 20	Высокий риск деформации; значительные проблемы с осуществлением	Непригодно без значительных улучшений; безопасность плотины может быть под угрозой

Согласно приведенной таблице, снижение модуля упругости бетона плотины (E_c) помогает уменьшить отношение E_c / E_{rm} , тем самым снижая риск неприемлемого поведения системы плотина-основание. В случае укатанного бетона (RCC) технически возможно достичь более низкого модуля упругости за счет уменьшения содержания цемента и других корректировок состава смеси (например, включения золы уноса (пуццолановых материалов) или оптимизации гранулометрии заполнителя).

Эта гибкость в регулировании механических свойств подчеркивает ключевое преимущество RCC-плотин перед обычными бетонными гравитационными плотинами, которые обычно имеют более высокий и менее изменяемый модуль упругости. В результате RCC-плотины более адаптируемы к основаниям с меньшей жесткостью горного массива, что делает их более жизнеспособной альтернативой на геологически сложных площадках плотин.

Например, если модуль упругости укатанного бетона RCC ограничен **примерно 16 ГПа**, соответствующий **минимально необходимый модуль деформации породы основания (E_{gm})** должен превышать **3,2 ГПа**, чтобы обеспечить вполне приемлемое соотношение для реализации.

Однако **модули деформации горного массива в диапазоне от 1,6 до 3,2 ГПа** все еще могут считаться в целом приемлемыми. В случаях, когда модуль деформации горного массива находится в диапазоне **от 1,6 до 3,2 ГПа**, могут быть применены различные **методы улучшения основания** для смягчения эффектов меньшей жесткости и обеспечения структурной целостности плотины. Эти меры могут включать:

- **Консолидационное цементирование для заполнения открытых трещин, разломов и пустот**, тем самым увеличивая эффективный модуль и снижая проницаемость.
- **Зубчатый бетон или замена слабых зон**, особенно там, где обнажены сильно выветренные или заполненные глиной пласты.
- **Углубление основания плотины или создание ключа** в более прочные слои породы для минимизации рисков осадки и скольжения.
- **Горизонтальные или вертикальные дренажные системы** для контроля взвешивающих давлений и повышения устойчивости.
- **Обработка поверхности горного массива**, включая очистку и выравнивание для улучшения контакта и сцепления с бетоном RCC.

Использование RCC-плотин обеспечивает значительную структурную гибкость, позволяя эффективно распределять нагрузки и учитывать некоторые дифференциальные осадки — преимущества, которые обычно недоступны для обычных бетонных гравитационных плотин. Тщательная корректировка состава смеси RCC, особенно за счет уменьшения содержания цемента и снижения модуля упругости, дополнительно повышает совместимость между структурой плотины и ее основанием, делая RCC предпочтительным выбором для площадок с переменными или умеренно слабыми геомеханическими условиями.

На основе всесторонних исследований и интерпретаций геомеханических параметров на площадке плотины Пскем делается вывод, что модуль деформации горного массива составляет **примерно 2,3 ГПа на левобережном примыкании и 3,5 ГПа в центре долины и на правобережном примыкании**. Следовательно, строительство плотины из укатанного бетона (RCC) считается технически осуществимым при условии принятия соответствующих мер по снижению содержания цемента и ограничению модуля упругости RCC примерно до 16 ГПа. В поддержку этого вывода в данном разделе отчета представлены результаты численных анализов чувствительности и набор конкретных проектных мер, направленных на повышение производительности тела плотины и основания против потенциальных деформаций основания.

5.2. Исследования вариантов генплана

5.2.1. Основные условия

Проектирование варианта плотины из укатанного бетона RCC предлагает значительную **гибкость** для оптимизации общего расположения основных компонентов проекта —

помимо присущих экономических преимуществ самой конструкции плотины. Потенциальные улучшения можно в целом разделить на следующие категории:

- **Объединение переливного водосброса с гребнем плотины:**

Одним из основных преимуществ варианта плотины из RCC является возможность пропуска части паводкового стока через переливной водосброс, интегрированный в гребень плотины. Дополнительные затраты на водосброс на гребне в бетонной плотине минимальны, а связанный с ним бассейн гашения у основания плотины относительно экономичен. В отличие от этого, в варианте каменно-набросной плотины с железобетонным экраном CFRD предусматривается сброс паводка через донный водосброс на левом берегу и частичное использование строительно-эксплуатационный водосброс на правом берегу. Поскольку строительные работы по туннельному водосбросу на левом берегу еще не начаты, существует явная возможность рассмотреть его замену на переливной водосброс на гребне, что существенно ускорит строительство и уменьшит затраты.

- **Перекомпоновка расположения здания станции и водоприёмника**

Альтернативная концепция проектных решений предполагает размещение всех четырех отверстий водоприемника ГЭС в теле плотины и расположением самого здания станции у основания плотины или вблизи к ней. В этой конфигурации существующие подводящие туннели на правом берегу могут быть полностью перепрофилированы под туннельные водосбросы. Этот подход требует тщательного анализа, поскольку некоторые строительные работы и гидромеханическое оборудование уже частично завершены или установлены.

Для изучения этих возможностей была проведена всесторонняя оценка потенциальных компоновок генплана проекта. Прежде чем обсуждать альтернативные схемы плана в деталях, кратко рассматриваются функциональные роли нескольких ключевых компонентов проекта:

- **Энерговодосбросной тракт 2-го яруса:**

Частично объединенный с обводным туннелем (строительным водосбросом), этот туннель планировался как аварийный водосброс для крупных паводковых расходов. Он может пропускать более 500 м³/с, что составляет около 50% от 0,01% (вероятного максимального) паводка. В этой компоновке паводковые расходы воды будут направляться через существующее КРЗ-1 и концевое сооружение строительно-эксплуатационного водосброса. Учитывая значительный прогресс в строительстве этих сооружений, эту трассу аварийного сброса следует сохранить.

- **Пропускная способность энергетического туннеля и возможности его использования:**

Каждый из энергетических туннелей диаметром 6,5 метра способен пропускать до 500 м³/с при высоких уровнях водохранилища. Хотя пропускная способность снижается при падении уровня воды, общая эксплуатационная потребность в сбросе для четырех генераторных установок ($4 \times 65 = 260$ м³/с) теоретически может быть обеспечена через один энергетический туннель (предпочтительно через энергетический

тракт). Это позволило бы полностью перепрофилировать первый энергетический туннель в водосброс. Тем не менее, гидравлические характеристики и потери напора, связанные с большой длиной туннелей, должны быть тщательно проанализированы.

5.2.2. Варианты генерального плана

При определении и оценке альтернативных вариантов плана применялись следующие ключевые критерии:

- ⇒ **Мощность выработки электроэнергии гидроэлектростанцией** должна оставаться неизменной.
- ⇒ Ранее построенные сооружения и завершенные работы должны **оптимально использоваться**.
- ⇒ Методы строительства должны быть максимально **простыми, модульными и управляемыми**.

На основе этих соображений были разработаны и оценены четыре варианта генплана, как описано ниже.

Вариант-1. Встроенные напорные водоводы в тело бетонной плотины с расположением здания станции у основания плотины + двойные туннельные водосбросы.

Описание Варианта-1:

Водоприемные отверстия размещаются в теле бетонной плотины, а здание ГЭС располагается у основания плотины или в непосредственной близости. Оба существующих энергетических туннеля на правом берегу перепрофилируются в специализированные туннельные водосбросы, рассчитанные на полный сброс максимального проектного паводка (0,01% вероятности), эквивалентного 1003 м³/с. Эта конфигурация включает следующие соображения:

- Проектирование и строительство новой конструкции концевой конструкции, включая гидромеханическое оборудование и водобойный колодец у выхода энергетического туннеля;
- Обеспечение отводящего канала для безопасного отвода расходов воды от здания ГЭС (260 м³/с), проложенного параллельно новому выходу водосброса;
- **Переоценка/перераспределение гидромеханических систем**, уже закупленных и частично установленных у выхода подводящего тракта в КРЗ-2;
- **Перепроектирование конструкций водозаборных сооружений 2-го яруса** и связанных с ними механических компонентов для удовлетворения специфических требований эксплуатации водосбросов.

Рисунок 5.1 иллюстрирует схематический план и предлагаемый водозабор для Варианта-1.

⇒ **Недостатки:**

- Поскольку энерговодосбросной тракт 2-го яруса полностью перепрофилируется в туннельный водосброс, его нижняя развилка - подводный тракт, ранее предназначенный для обслуживания агрегатов №1 и №2 здания ГЭС, и связанная с ним построенная камера затворов КРЗ-2 становятся неактуальными и непригодными для использования;
- Из-за неоптимальной посадки нижнего участка туннеля №2 (энергетического туннеля) гидравлическое проектирование выходных сооружений и бассейна гашения энергии становится весьма сложным. Кроме того, размещение параллельно отводящего канала здания станции рядом с выходом водосброса дополнительно усложняет планировку площадки и гидравлику;
- Выемка грунта и работы по обработке основания, уже завершенные для расположения котлована здания станции, станут избыточными. Новый, сопоставимый набор работ потребует выполнения у основания плотины, в непосредственной близости от первоначального места выемки - подход, который технически неэффективен и экономически невыгоден.

⇒ **Оценка:**

Хотя этот вариант предлагает компактное и теоретически упрощенное проектное решение, он **несовместим с текущими условиями площадки и приведет к значительным потерям ранее завершенных работ**. Кроме того, он вызовет сложные гидравлические проблемы. **Поэтому этот вариант не рекомендуется и был исключен из дальнейшего рассмотрения.**



Вариант-2: Переливной водосброс на гребне плотины вместо предложенного туннельного водосброса на левом берегу + сохранение существующей схемы подводящего энергетического тракта и здания ГЭС.

Описание:

В этом варианте предложенный ранее туннельный водосброс на левом берегу и связанные с ним сооружения заменяются простым и экономически эффективным автоматическим переливным водосбросом, встроенным в гребень плотины RCC. Водосброс рассчитан в соответствии с критериями проектирования, использованными в исходном технико-экономическом обосновании, с сохранением тех же предположений об уровне водохранилища. Соответственно, проектная пропускная способность водосброса на гребне оценивается примерно в **500 м³/с**. Стоит отметить, что это решение обеспечит разумный запас безопасности в случае аварийной ситуации других водосбросов (туннельных водосбросов) с минимальными или нулевыми повреждениями.

Эта конфигурация включает следующие соображения:

- **Проектирование и строительство нового бассейна гашения энергии и отводящего канала** для безопасного пропуска стока водосброса (примерно 500 м³/с), расположенного параллельно конструкции здания станции и его отводящего канала;
- Конфигурация сохраняет все ранее выполненные строительные работы, включая энергетические туннели, конструкции здания станции и связанные компоненты в полностью функциональном и оптимальном состоянии;
- С технической и строительной точки зрения это решение предлагает **простую и эффективную конструкцию** с явными логистическими и экономическими преимуществами.

Схематические изображения плана и улучшенного дизайна водозабора представлены на Рисунках 5.2.

⇒ **Недостатки:**

- Основной недостаток заключается в **дополнительной выемке грунта**, необходимой для **строительства отводящего канала водосброса** вдоль левого берега, рядом со зданием станции.

⇒ **Оценка:**

Учитывая техническую простоту, минимальное вмешательство в текущие или завершенные работы и отличную совместимость с текущими условиями площадки, этот вариант представляет собой практичное и жизнеспособное решение. Поэтому она считается одним из наиболее предпочтительных вариантов для реализации проекта.

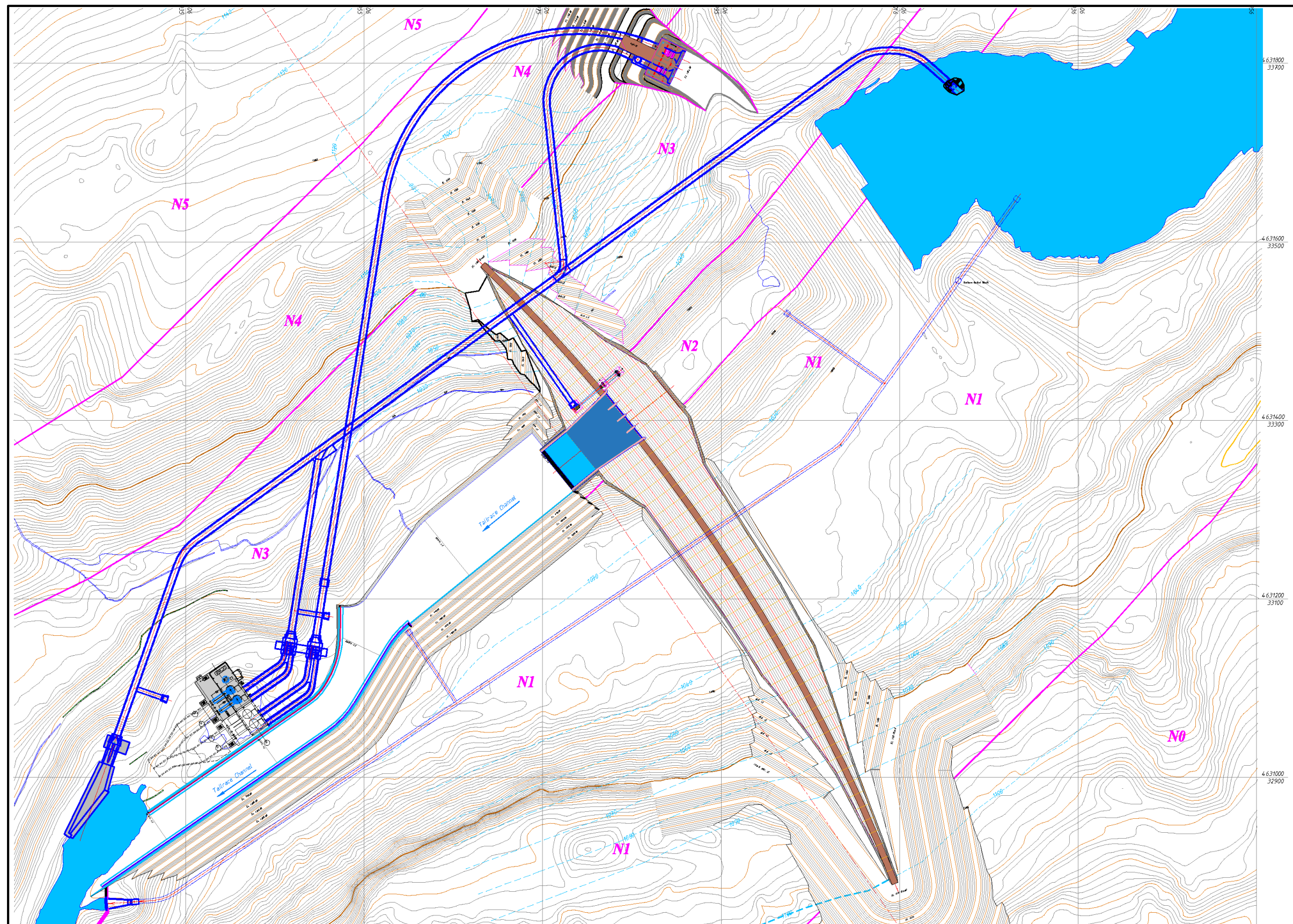


Рисунок 5.2-Генплан Варианта 2 - Переливной водосброс на гребне вместо предложенного туннельного водосброса на левом берегу + сохранение существующей схемы энергетических туннелей и Здания ГЭС

Вариант-3: Использование энергетического тракта с развилкой на правом берегу и уменьшенной конструкции здания ГЭС (2 гидроагрегата вместо 4):

Описание:

В этой конфигурации количество гидроагрегатов здания станции **сокращается с 4 до 2**, при этом каждая установка имеет **удвоенную исходную мощность**. Подвод воды будет обеспечиваться через **энерговодосбросной тракт 2-го яруса**, изначально спроектированный для двойной функциональности (т.е. подводящий тракт к ГЭС и в качестве аварийного водосброса паводка). **Энергетический туннель (№ 2)** полностью перепрофилируется в **основной эксплуатационный водосброс**.

Ключевые технические соображения для этой компоновки включают:

- **Проектирование и строительство новой конструкции** камеры затворов для энергетического тракта (туннеля № 2), включая соответствующее **гидромеханическое оборудование и бассейн гашения энергии**;
- **Полное перепроектирование комплекса здания станции**, включая строительные, гидромеханические и электромеханические компоненты, для размещения новой конфигурации с 2 гидроагрегатами;
- **Переоценка гидромеханических систем**, уже закупленных или частично установленных у выхода подводящего тракта (туннеля № 1) – КРЗ-2;
- **Перепроектирование конструкций водозаборов** и связанных механических компонентов для удовлетворения специфических требований двойного назначения: эксплуатационного водосброса и водоприемника.

Схематическое изображение плана представлено на Рисунке 5.3.

⇒ **Недостатки:**

- Наиболее значительным недостатком этой конфигурации является ее **негативное влияние на эффективность выработки электроэнергии**, в основном из-за **увеличения потерь напора**, вызванных более высокими скоростями потока в подводящем туннеле. Предварительные анализы показывают увеличение потерь напора с **5,6 м до примерно 22,0 м**, что приводит к существенному снижению выработки энергии;
- Кроме того, увеличение мощности каждого гидроагрегата **снижает эксплуатационную гибкость**, отрицательно влияя на управление нагрузкой и эффективность электростанции, что уменьшает потенциал выработки энергии.

⇒ **Оценка:**

Из-за **значительных экономических недостатков**, в частности, **значительной потери выработки электроэнергии** и снижения эксплуатационной гибкости, этот вариант **считается неосуществимым** и поэтому **исключен из дальнейшего рассмотрения**.

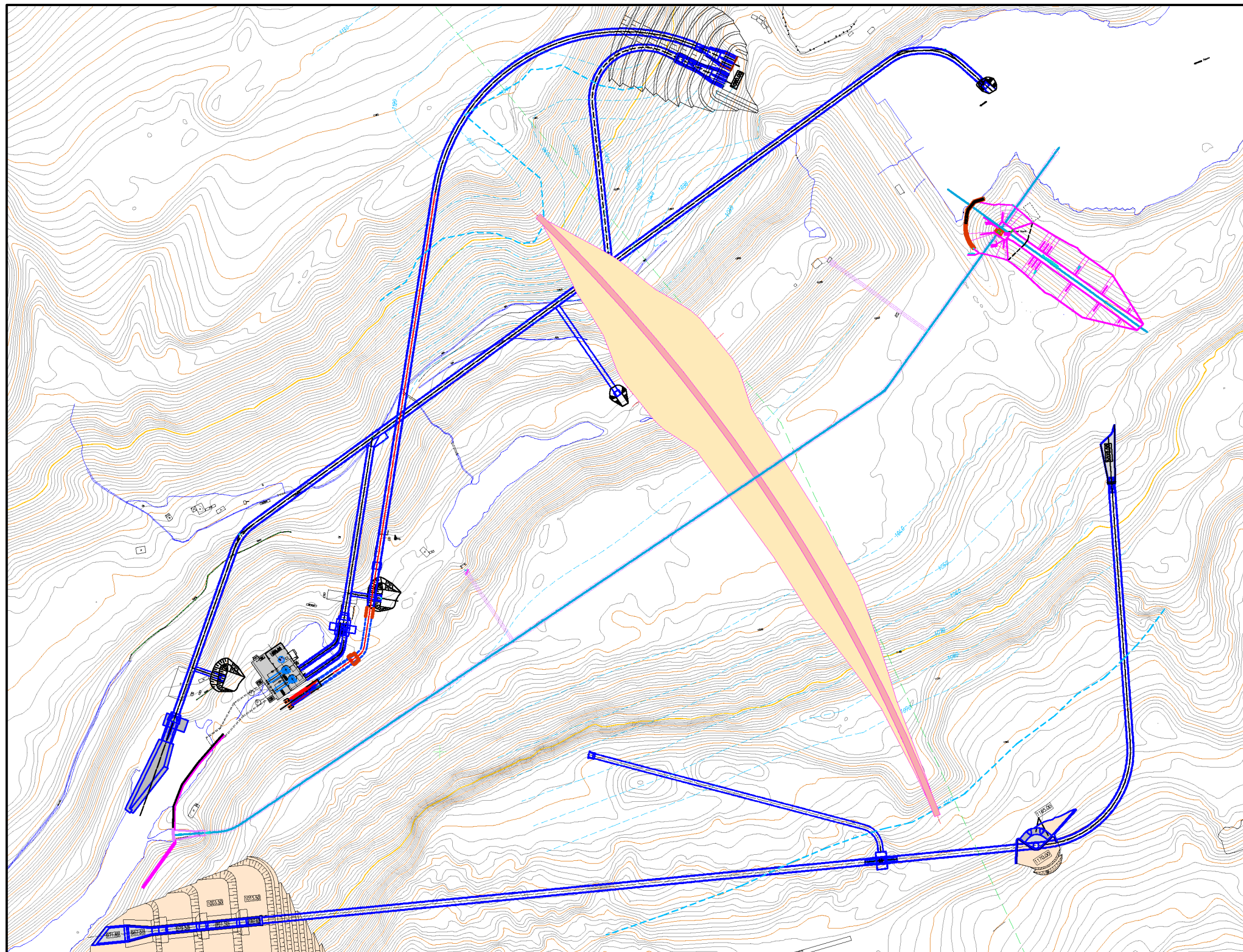


Рисунок 5.3- Общий план Варианта 3 – Энергетический тракт на два агрегата на правом берегу с уменьшенным зданием станции (2 агрегата вместо 4)

Вариант-4: Подводящий тракт на правом берегу с добавлением новой ветви к энергетическому туннелю № 2 + сохранение исходной конфигурации здания станции**Описание:**

Этот вариант является усовершенствованной версией Варианта 3, разработанной для устранения ее ключевых недостатков, в частности, **чрезмерных потерь напора и снижения эффективности генерации энергии**. В этой компоновке **сохраняется исходная концепция здания ГЭС с 4 гидроагрегатами**. Для управления паводковыми расходами вводится новая сбросная ветвь вблизи конечного участка энергетического тракта (туннеля №2), что позволяет паводковым расходам обходить систему генерации энергии без дополнительных потерь напора.

Ключевые технические особенности варианта:

- **Проектирование и строительство новой ветви туннеля**, соединенной вблизи конечного участка энергетического тракта (туннеля № 2);
- **Строительство специализированной выходной конструкции** для этой новой ветви, включая гидромеханические системы и **эффективный бассейн гашения энергии** паводка;
- **Разработка отводящего канала** вдоль конструкции здания станции для безопасного пропуска паводковых стоков, сбрасываемых через новую ветвь энергетического туннеля (туннеля № 2).

Схематическое изображение этой конфигурации показано на Рисунке 5.4.

⇒ Недостатки:

- **Концевая часть энергетического тракта (туннеля № 2)** уже построена с использованием **бетонной и стальной облицовки**, что делает любые модификации — включая выемку и интеграцию нового туннельного ответвления - **технически сложным и затруднительным с точки зрения строительства**;
- **Выполнение безопасного и надежного соединения** между новой ветвью и существующим туннелем со стальной облицовкой связано со **значительными техническими рисками и дополнительными затратами**.

⇒ Оценка:

Хотя этот вариант технически осуществим, сложность строительства и риски, связанные с соединением нового туннеля с существующей конструкцией со стальной облицовкой, представляют значительные проблемы. Функционально этот план достигает той же цели по сбросу паводка, что и вариант 2, но заменяет простой и эффективный водосброс на гребне более сложной развилкой туннеля.

Учитывая, что гидравлические характеристики водосброса на гребне в варианте-2 хорошо установлены, а требования к его строительству значительно проще и менее рискованны, вариант 4 не предлагает существенных преимуществ по сравнению с ним. Соответственно, этот вариант не предпочтителен по сравнению с Вариантом 2.

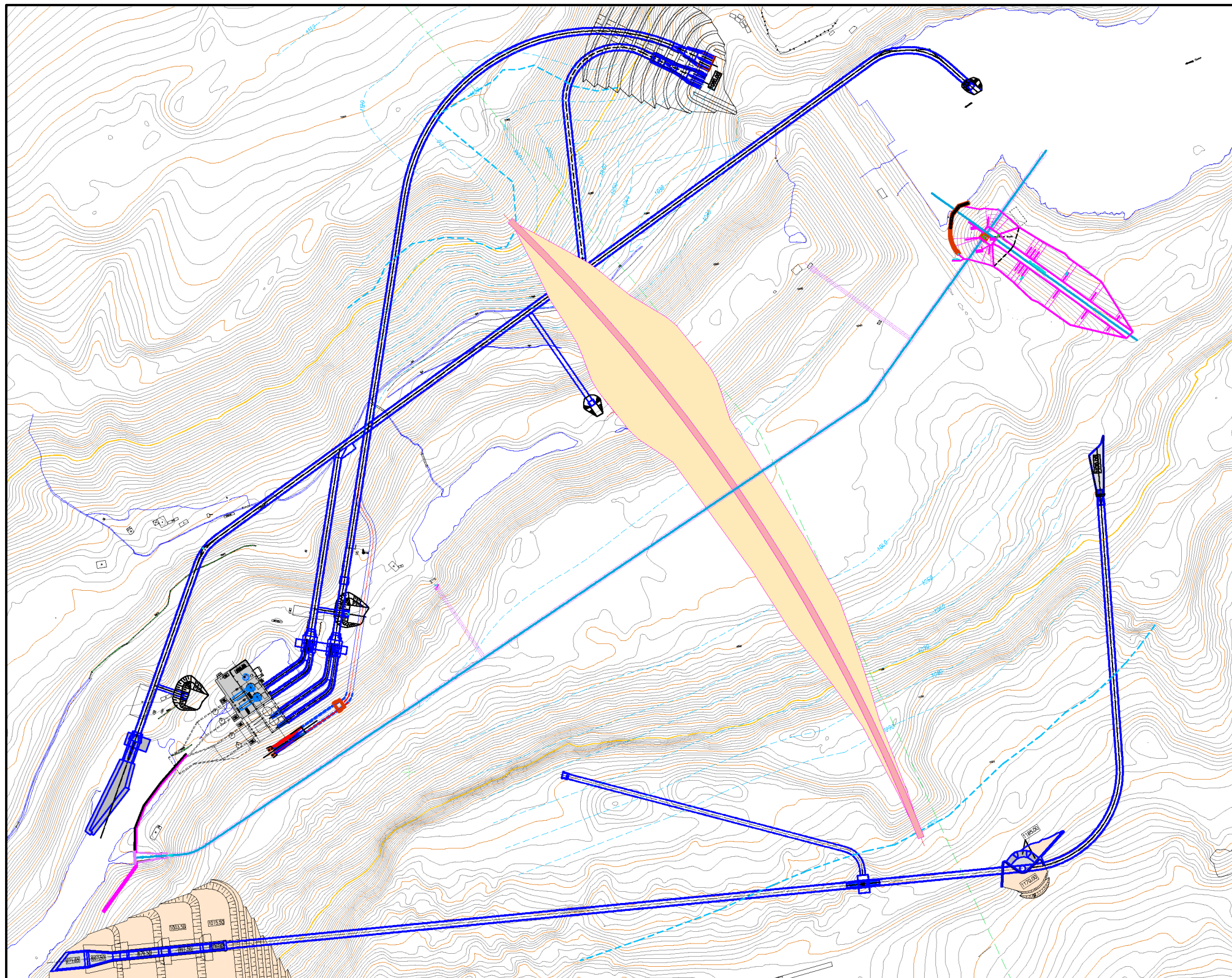


Рисунок 5.4- Генплан Варианта 4 – Подводящий тракт на правом берегу с добавлением новой ветви к энергетическому туннелю № 2 + сохранение исходной компоновки Здания ГЭС

5.2.3. Вывод по генплану

На основе всесторонней разработки проекта и детальной оценки предложенных вариантов генплана делается вывод, что **Вариант-2** — который включает **обеспечение переливного водосброса на гребне плотины** вместо предложенного донного водосброса на левом берегу **при сохранении исходного расположения здания ГЭС и подводящего тракта ГЭС** — является наиболее надежным решением, как с технической, так и строительной с точки зрения.

Этот вариант демонстрирует оптимальную совместимость с существующими строительными работами, гарантируя, что вся ранее выполненная инфраструктура остается функциональной и экономически эффективной. Более того, она предлагает наиболее благоприятное расположение независимых фронтов работы, облегчая **параллельное выполнение строительных работ по плотине и зданию станции**, тем самым поддерживая **ускоренный график строительства** и минимизируя общую продолжительность строительства проекта.

В итоге, компоновка основных сооружений Варианта 2 достигает наилучшего баланса между инженерной осуществимостью, экономической эффективностью и практичностью строительства и поэтому рекомендуется как предпочтительное решение для проекта.

5.3. Проектирование плотины из укатанного бетона (RCC)

5.3.1. Геометрическое проектирование поперечного сечения плотины

Учитывая геологические и геотехнические условия на площадке пскемской плотины, для геометрического проектирования поперечного сечения плотины был принят консервативный подход.

После удаления четвертичных отложений и выветрелой породы в русле реки уровень основания установлен на отметке **975 метров над уровнем моря**. С уровнем гребня плотины на отметке **1100 метров над уровнем моря** максимальная высота плотины достигает **125 метров**.

В соответствии с текущими лучшими практиками сечение плотины спроектировано **симметричным**, что выгодно для оснований из мягких пород и облегчает интеграцию водосбросных сооружений с профилем плотины.

Были разработаны и оценены два варианта поперечного сечения (Рисунок 5.5):

- **Вариант 1:** Уклоны вверх и вниз по течению **0,6Н:1,0V**, что дает **ширину основания 150,0 метров** и **площадь поперечного сечения 9396 м²**.
- **Вариант 2:** более крутые уклоны **0,5Н:1,0V** в сочетании с двумя зубами в основании (вверх и вниз по течению) **глубиной 7,0 метров**. Эта конфигурация усиливает сжатие горного массива основания и повышает устойчивость плотины. **Ширина основания уменьшена до 115,0 метров**, а **площадь поперечного сечения составляет 7934 м²**.

Последующие анализы показывают, что Вариант 2 предлагает незначительно лучшие свойства, особенно в отношении устойчивости и взаимодействия с основанием.

Таким образом, Вариант 2 принят как наиболее технически надежное и эффективное решение для поперечного сечения плотины.

Окончательное положение оси плотины скорректировано на основе подготовленной карты коренных пород на обоих бортах. Детальная геометрия тела плотины указана в альбоме чертежей.

Плотина из укатанного бетона (RCC) возводится симметричного профиля с заложением верховой и низовой граней 1:0,5; шириной по основанию 115 м с двумя зубами глубиной 7 м в основании. Длина плотины по гребню 830 м, ширина гребня 7,0 м вдоль проезжей части, с местным расширением для размещения подъемного механизма ремонтного затвора донного водовыпуска.

Плотина разделена деформационными швами на 55 секций шириной 15,0 – 15,5 м. Площадь деформационных швов 128,0 тыс. м²; установка уплотнений «Waterstop» - 7900м.

Объем вибрированного бетона по плотине 450 тыс. м³; укатанного 2 100,0 тыс. м³. Арматура вибрированного бетона – 4000 тонн.

Выемка котлована под плотину 2 310,0 тыс. м³, в том числе скального грунта 1860,0 тыс. м³.

В основании плотины выполняется глубокая цемзавеса до 80 м и укрепительная цементация.

Технические решения по зонированию бетона, элементам конструкции плотины подлежат разработке в составе базового проекта.

В плотине предусмотрена установка комплекта контрольно-измерительной аппаратуры (КИА): пьезометрической, геодезической, температурной, датчиков напряжения и фильтрации и др.

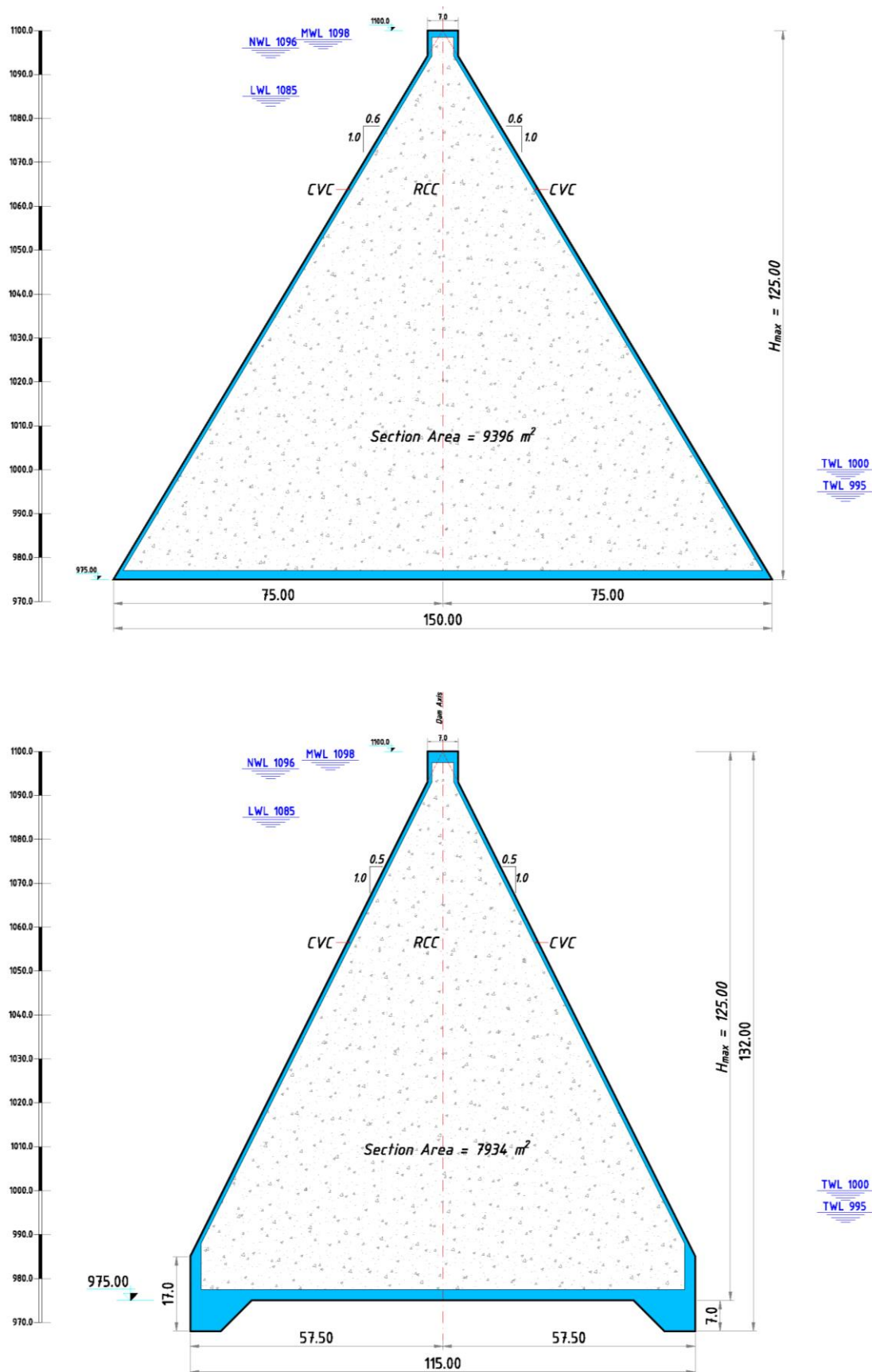


Рисунок 5.5- Поперечное сечение плотины, Альтернатива 1 (сверху) и Альтернатива 2 (снизу)

5.3.2. Анализ устойчивости сечения плотины

Устойчивость сечения плотины является ключевым фактором при определении размеров гравитационных плотин.

Анализ устойчивости для сечения плотины Варианта-2 был проведен при различных эксплуатационных условиях на основе следующих предположений:

- Стабилизирующие эффекты нижнего и верхнего зуба не учитывались в анализе.
- Пскемская плотина из укатанного бетона имеет небольшую и равномерную кривизну в плане ($R=2000$ м), что повышает структурную целостность и устойчивость отдельных блоков плотины. Однако этот благоприятный эффект не учтен в текущем двумерном анализе устойчивости.
- Исследования структурной геологии и геотехники подтвердили, что горный массив основания в центральной зоне — где сечение плотины достигает максимальной высоты — обладает наилучшим качеством. Это хорошо соответствует требованиям проектирования, особенно в плане устойчивости плотины.
- Натурные испытания на сдвиг (штамповые испытания), проведенные на правом устое вблизи русла реки, использовались для определения параметров прочности на сдвиг для анализа. На основе этих испытаний сцепление и угол трения приняты равными 0,30 МПа и 42° соответственно (представляющие пиковые значения прочности на сдвиг).
- Учитывая значимость Пскемской плотины, максимальное вероятное землетрясение (МСЕ) с вероятностью 84% принято в качестве сейсмического события для оценки безопасности (SEE) при экстремальных динамических нагрузках. Связанное с ним пиковое ускорение грунта (PGA) составляет 0,57 g.

Основные входные данные для анализа представлены в Таблице 5.2, а соответствующие результаты обобщены в Таблице 5.3.

На основе полученных результатов и несмотря на примененные консервативные предположения, предложенное сечение плотины удовлетворяет требуемым критериям устойчивости. При экстремальных динамических нагрузках (т.е. землетрясении МСЕ с пиковым ускорением грунта 0,57 g) расчетный коэффициент безопасности против скольжения составляет 1,06, что близко к рекомендуемому минимальному порогу 1,10.

Важно отметить, что в случае такого сильного землетрясения можно ожидать некоторую степень повреждения тела плотины; однако это не приведет к критическим последствиям для безопасности.

Рекомендуется проведение более детального и уточненного анализа устойчивости на последующих этапах проектирования и исследований.

Таблица 5.2- Основные данные, использованные для анализа устойчивости сечения плотины

STABILITY ANALYSIS *(Theoretical Designed Section)*

A) STRUCTURE:

GEOMETRY

Base EL. of Structure	975.0 m.a.s.l.
Top EL. of Structure	1100.0 m.a.s.l.
Structure dimension - Length of Base	115.0 m
Structure dimension - Width of Base	1.0 m
Drainage Curtain distance from U/S edge	25.0 m
Depth of U/S shear key	0.0 m
U/S Slip Angle (phi) (°)	26.6 (°)
D/S Slip Angle (phi) (°)	26.6 (°)

WEIGHTS

Weight of Structure	(D1)	19041.6 Ton
Weight of Water (U/S) - NWL	(D2)	3078.0 Ton
Weight of Water (U/S) - 50% Percentile RWL	(D3)	2500.0 Ton
Weight of Water (U/S) - PMF	(D4)	3186.0 Ton
Weight of Water (D/S) - NWL	(D5)	0.0 Ton
Weight of Water (D/S) - PMF	(D6)	0.0 Ton

B) HYDROSTATIC:

RESERVOIR

Normal Water Level	(H1)	1096.0 m.a.s.l.
Water Level with 50% Occurrence Probability	(H2)	1085.0 m.a.s.l.
PMF Water Level	(H3)	1098.0 m.a.s.l.
Hydrodynamic Force (For 1.0 g Acceleration) - NWL		6019.2 ton
Hydrodynamic Force (For 1.0 g Acceleration) - 50% Percentile RWL		4974.6 ton

TAILWATER

Normal Tailwater Level (H4)	995.0 m.a.s.l.
PMF Tailwater Level (H5)	1000.0 m.a.s.l.
Hydrodynamic Force (For 1.0 g Acceleration)	164.4 ton

UPLIFT PRESSURE (HEAD) AT THE LOCATION OF DRAINAGE CURTAIN

Drainage Effectiveness	67.0 %
Uplift corresponding to NWL	46.1 m
Uplift corresponding to 50% Percentile RWL	43.2 m
Uplift corresponding to PMF	50.3 m
Cracked length though the base	0.0 m

C) SHEAR KEY FUNCTION:

Base inclination angle (to be added on friction angle)	0.000 deg.
Steady Earth Pressure (P ₀)	0.0 Ton
Height of Rock Excavation in Downstream	0.00 m

D) EARTHQUAKE:

	OBE	DBE	MDE	MCE
Peak horizontal ground acceleration	0.190	0.270	0.420	0.570 g
Peak vertical ground acceleration	0.130	0.180	0.280	0.380 g

E) GEOTECHNIC:

Friction angle of rock-foundation contact	42.0 deg.
Cohesion of rock-foundation contact	0.30 Mpa
Allowable bearing capacity of foundation rock	4.200 Mpa

F) DAM THRUST (OR OTHER) FORCES:

	LC1	HYD (NWL)	EQY (1.0g)
Fx-Sum (ton)	0	0	0
Fy-Sum (ton)	0	0	0
Fz-Sum (ton)	0	0	0
h	1.00	1.00	1.00

Таблица 5.3- Результаты анализа устойчивости

LOADS			Fxy	Fz	Dxy	Dz
			(Ton)	(Ton)	(m)	(m)
DEAD LOADS	Structure	D1		-19041.6	57.50	41.33
	U/S Water - NWL	D2		-3078.0	96.53	83.97
	U/S Water - 50% Percentiale	D3		-2500.0	96.24	76.67
	U/S Water - PMF	D4		-3186.0	98.33	85.26
	Tailwater - NWL	D5		0.0	1.00	1.00
	Tailwater - PMF	D6		0.0	1.00	1.00
HYDROSTATIC	Headpressure - Nor.	H1	7320.5			40.33
	Headpressure-50%Percentiale	H2	6050.0			36.67
	Headpressure - PMF	H3	7564.5			41.00
	Tailpressure - Nor.	H4	-200.0			6.67
	Tailpressure - PMF	H5	-312.5			8.33
	Uplift - NWL	U1		5062.4	72.97	
	Uplift - 50% Percentiale	U2		4761.5	72.16	
DAM THRUST (OR OTHER) FORCES	Uplift - PMF	U3		5555.3	71.18	
	Fxy - LC1	Fxy - LC1	0.0			1.00
	Fz - LC1	Fz - LC1		0.0	1.00	
	Fxy - OBE	Fxy - OBE	0.0			1.00
	Fz - OBE	Fz - OBE		0.0	1.00	
	Fxy - MCE	Fxy - MCE	0.0			1.00
EARTHQUAKE	Fz - MCE	Fz - MCE		0.0	1.00	
	D1 (OBE)	EQD-1	2411.9			41.33
	D1 (MCE)	EQD-2	7235.8			41.33
	Hydrodynamic (OBE)	EQHYD-1	762.4			48.40
		EQHYD-2	20.8			8.00
	Hydrodynamic (MCE)	EQHYD-3	1890.3			44.00
			EQHYD-4	62.5		8.00

Fxy : horizontal force + $\Rightarrow$
 Fz : vertical force + $\uparrow$
 Dxy : horizontal distance to downstream toe
 Dz : vertical distance to downstream toe

STABILITY ANALYSIS RESULTS

LOAD CASE		Unusual	Usual	Extreme	Extreme	Unusual	Extreme
OPERATION CONDITION		D.L.	Nor. Oper.	Flood	D.L. + OBE	Nor. + OBE	50%P. + MCE
LOAD COMBINATION		LC1	LC2	LC3	LC4	LC5	LC6
SLIDING	V (Ton)	-19042	-17057	-16672	-19042	-17057	-17057
	H Active (Ton)	0	7121	7252	2412	10316	16309
	T _{fric} +shearkey (Ton)	20664	18877	18531	20664	18544	17220
	S.F. _{cal.}	Stable	2.65	2.56	8.57	1.80	1.06
	S.F. _{alo.}	1.5	2.0	1.1	1.5	1.5	1.1
OVERTURNING	Mo (T.m.)	-1094892	-728678	-793518	-995207	-591924	-345948
	R.L. (m)	57.50	42.72	47.59	52.26	34.70	20.28
	CONTROL	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
	CRITERIA	38.33	<Mid.1/3<	76.67	28.75	<Mid.1/2 <	86.25
BEARING CAPACITY	P _{max} (MPa)	1.62	2.58	2.16	2.07	3.21	5.50
	P _{min} (MPa)	1.62	0.33	0.69	1.18	0.00	0.00
	Uncracked L.	115.0	115.0	115.0	115.0	104.1	60.8
	CONTROL	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.	O.K.
	P _{alo} (Mpa)	5.25	4.20	5.25	5.59	5.25	5.59

V : sum of vertical forces (-)
 H : sum of horizontal forces (+)
 N : resultant of forces normal to the assumed sliding plane
 T_f : maximum resisting shear (+)
 T : applied shear along the slip plane (+)
 F_d : weight of the structure ,equipment,water,etc. (-)
 F_u : uplift forces acting on the base of the structure (+)
 M_o : moment caused by the forces about the downstream toe
 R.L. : resultant location from downstream toe

P_{max} & P_{min} : max. & min. base pressure
 P_{alo} : allowable base pressure
 S.F._{cal.} : calculated safety factor
 S.F._{alo} : allowable safety factor
 FORMULA:
 T_f=N*Tan(phi)+C*A
 sliding : S.F.= T_f / T
 flotation : S.F.= F_d / F_u
 overturning : R.L. = M_o / V

5.3.3. Численный анализ чувствительности

Для оценки деформационного поведения тела плотины, соответствующего ожидаемым диапазонам модуля деформации основания, было выполнено несколько численных анализов чувствительности. Цели этих анализов можно обобщить следующим образом:

- Определить критический модуль деформации основания, при котором тенденция перемещений плотины изменится. Фактически, предоставляя график индикативных перемещений сечения плотины, соответствующих различным модулям деформации основания, можно оценить нижний допустимый предел модуля деформации основания плотины.
- Выявить потенциальные повреждения (потенциальные механизмы разрушения) сечения плотины в отношении низких значений модуля деформации.

Для этой цели были рассмотрены следующие предположения и случаи исследования:

- Модуль упругости RCC плотины принят равным **16,0 ГПа**.
- Модуль деформации основания принят равным **0,5, 1,0, 3,0 и 5,0 ГПа**.
- Рассмотрены основные статические нагрузки, т.е. «собственный вес» и «собственный вес + гидростатическое давление», для всех случаев.

Кроме того, анализы чувствительности выполнены для обоих вариантов сечения плотины — Варианта 1 и 2 — для сравнения их поведения при нагружении.

Анализы выполнены с использованием программного обеспечения FLAC. Для проверки возможности возникновения избыточных поровых давлений, главным образом в случае очень слабого основания, условия основания рассматривались как в «дренированном», так и в «недренированном» состоянии.

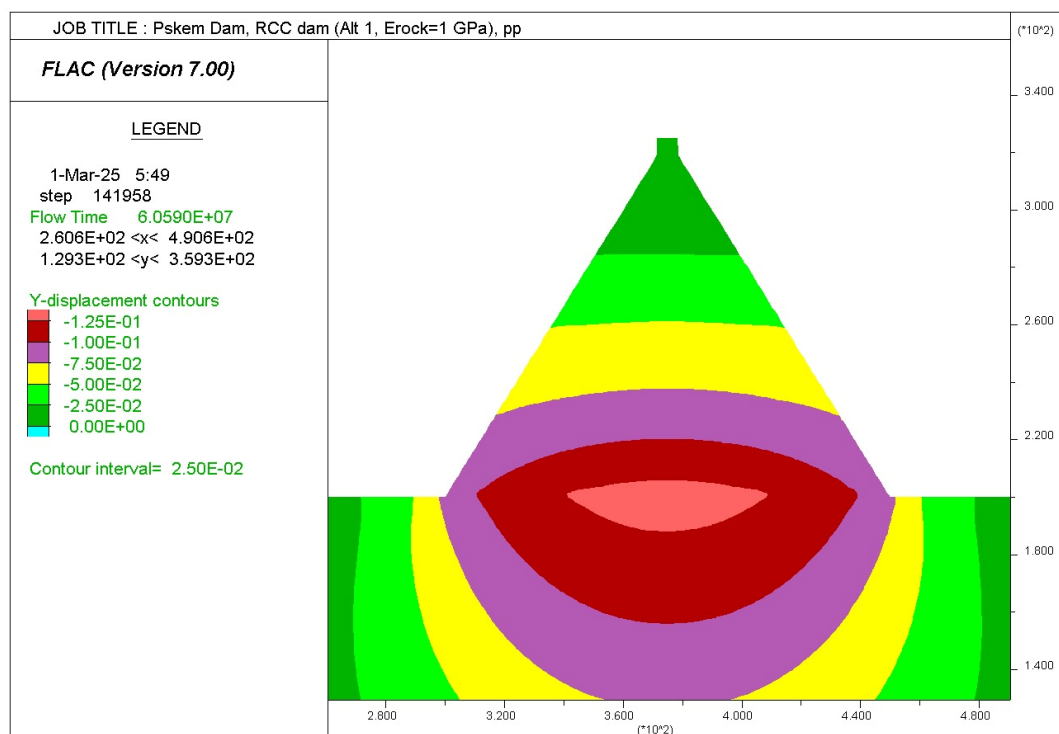
Анализы представлены в виде контуров перемещений и векторов главных напряжений для наиболее критического случая — т.е. случая $E_{rm} = 1,0$ ГПа — на Рисунках 5.6–5.9. Сводка полученных результатов представлена в Таблице 5.4.

Таблица 5.4 - Сводные результаты численного анализа чувствительности для модуля деформации основания

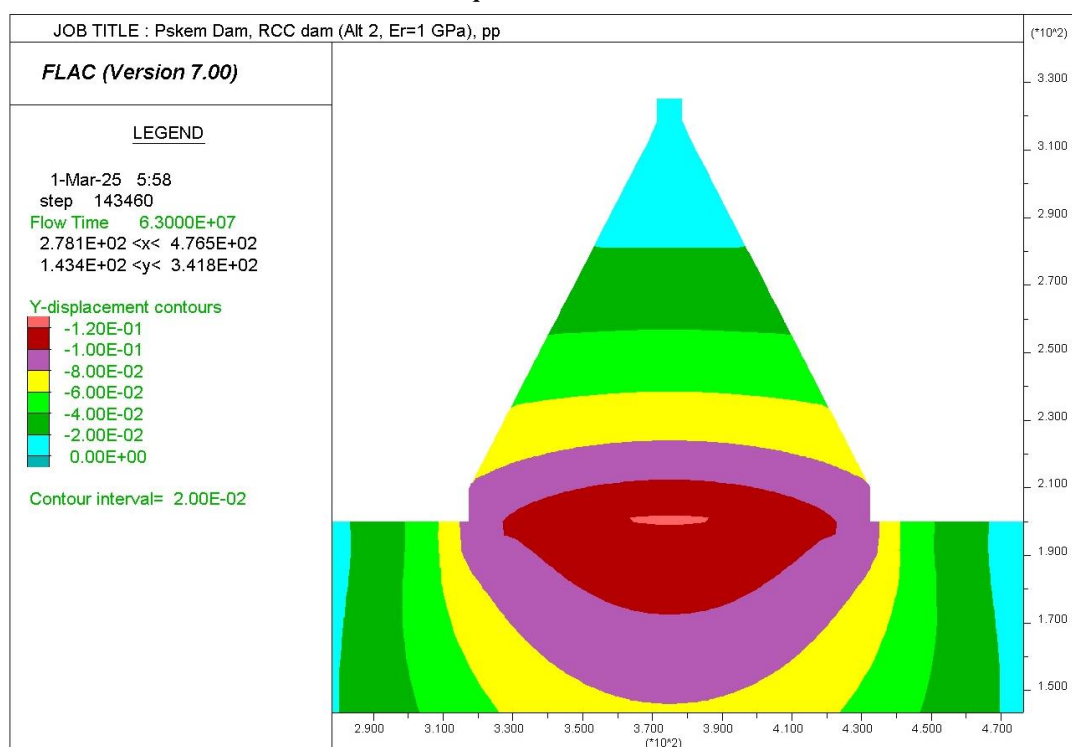
Analysis Result	Dam Section Alternative	Drained Conditions				Un-Drained Conditions			
		Foundation Modulus (GPa)				Foundation Modulus (GPa)			
		0.5	1.0	3.0	5.0	0.5	1.0	3.0	5.0
Maximum Tensile Stress (MPa)	Alternative 1	3.76	2.84	1.17	0.53	5.05	3.11	1.24	0.57
	Alternative 2	3.14	2.39	1.01	0.45	5.25	2.95	1.08	0.50
Foundation Settlement (cm)	Alternative 1	39.2	20.5	7.4	4.5	22.7	13.3	5.3	3.4
	Alternative 2	36.5	18.9	6.7	4.1	21.1	12.1	4.8	3.1
Average Excess Pore Pressure (%)	Alternative 1	0	0	0	0	46	38	26	21
	Alternative 2	0	0	0	0	43	36	24	20

Основной вывод заключается в том, что сечение плотины Варианта 2 демонстрирует значительно лучшие характеристики при всех рассмотренных условиях нагрузок. При этом улучшенные показатели достигаются при площади сечения, приблизительно на 16 % меньшей по сравнению с вариантом №1.

Полученные данные однозначно подтверждают более высокую конструктивную эффективность и экономическую целесообразность данного проектного решения.

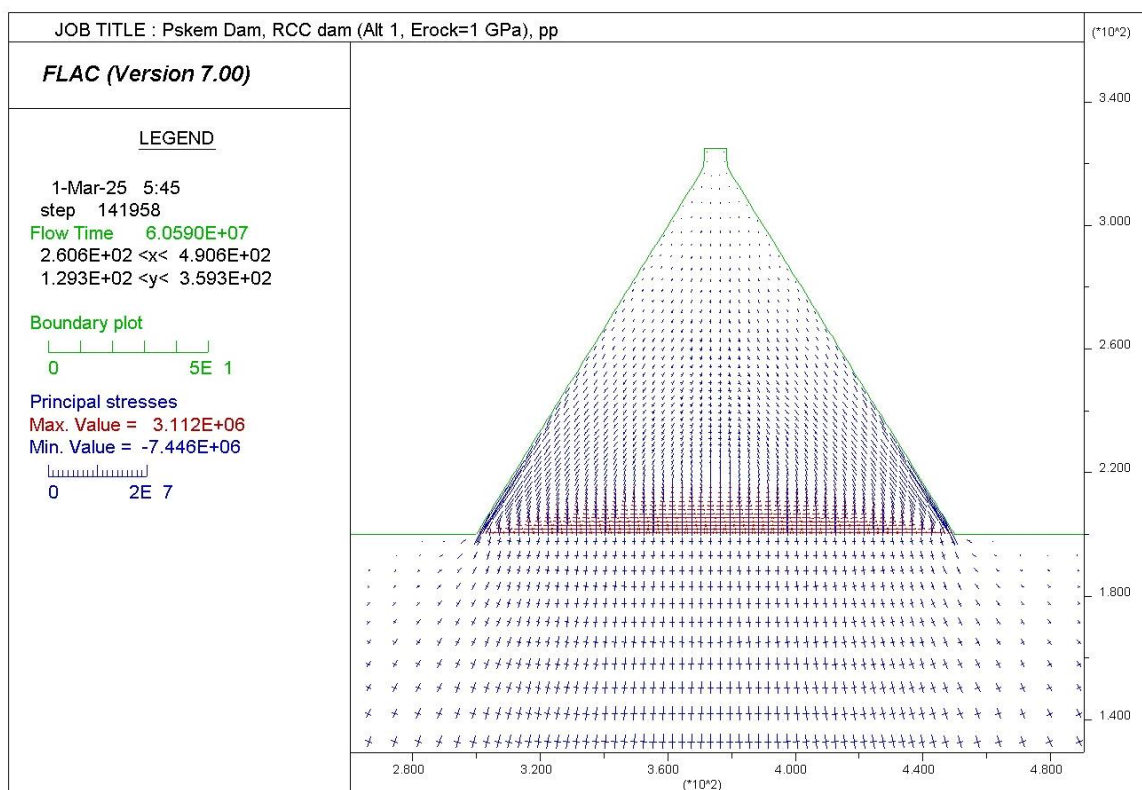


Альтернатива сечения 1

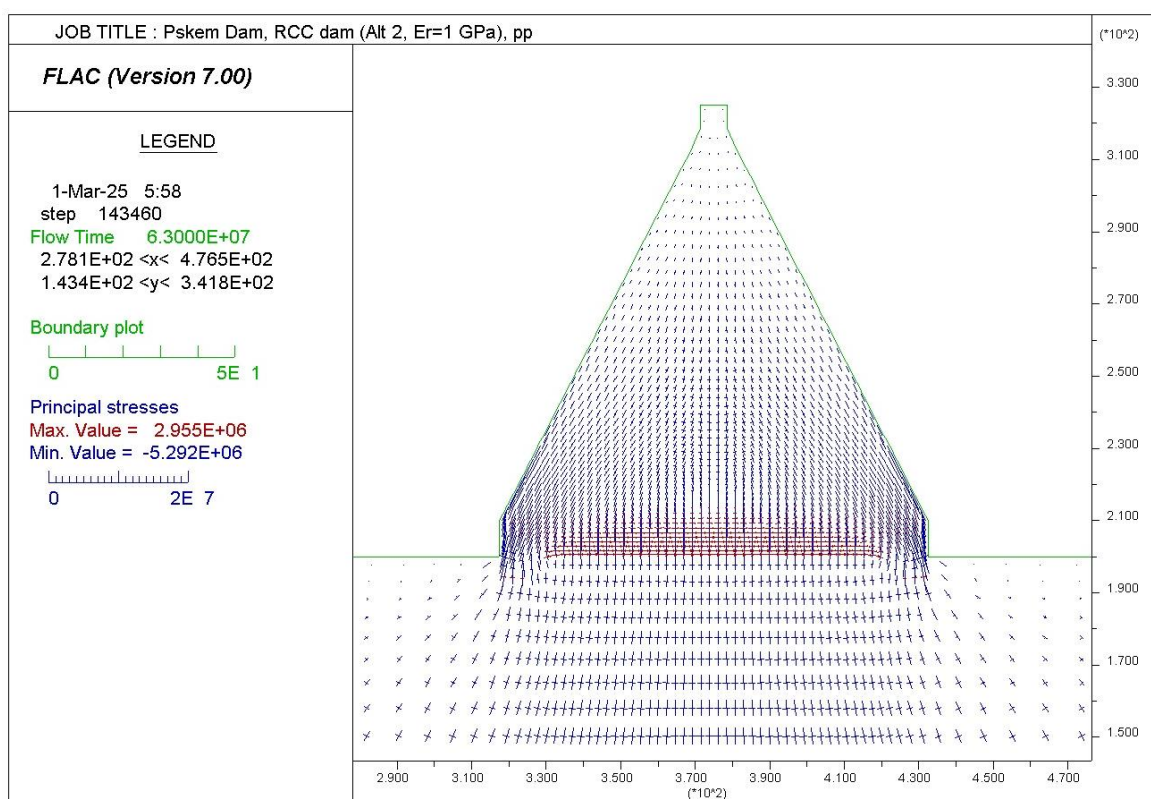


Альтернатива сечения 2

Рисунок 5.6- Перемещения плотины и основания (в метрах) в направлении Y (вертикальном) при $E_{rm} = 1,0$ ГПа

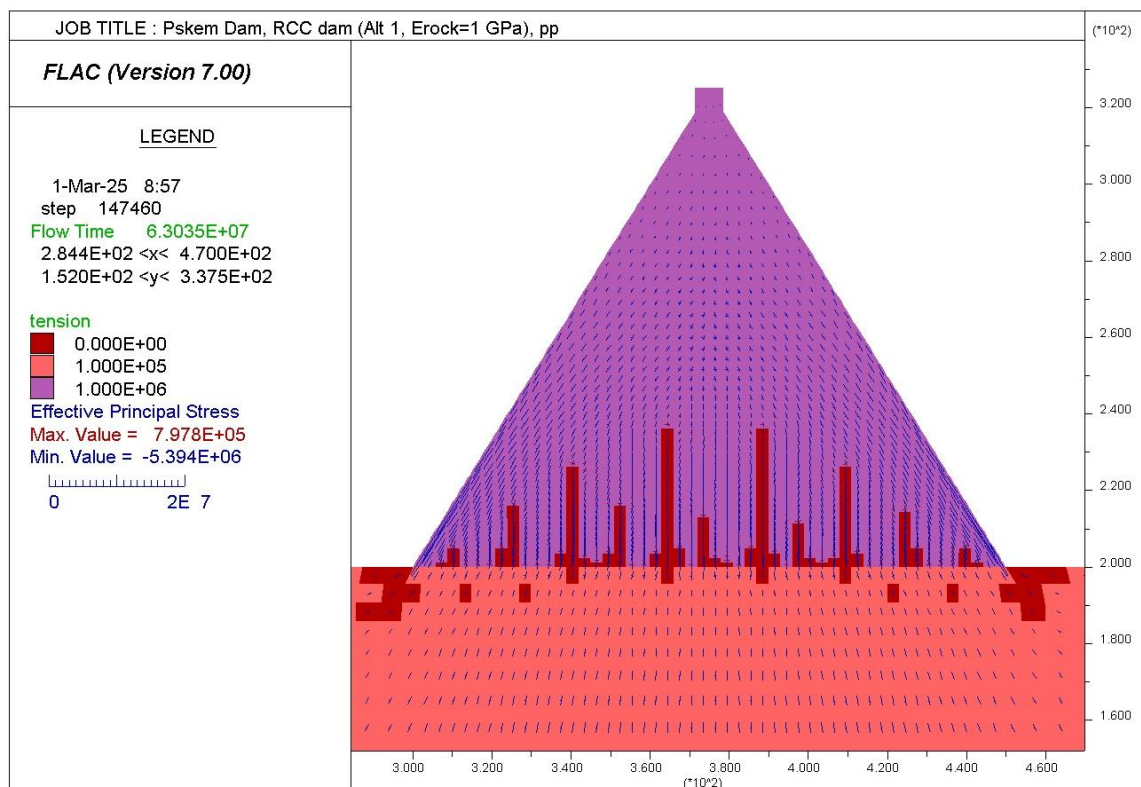


Альтернатива сечения 1

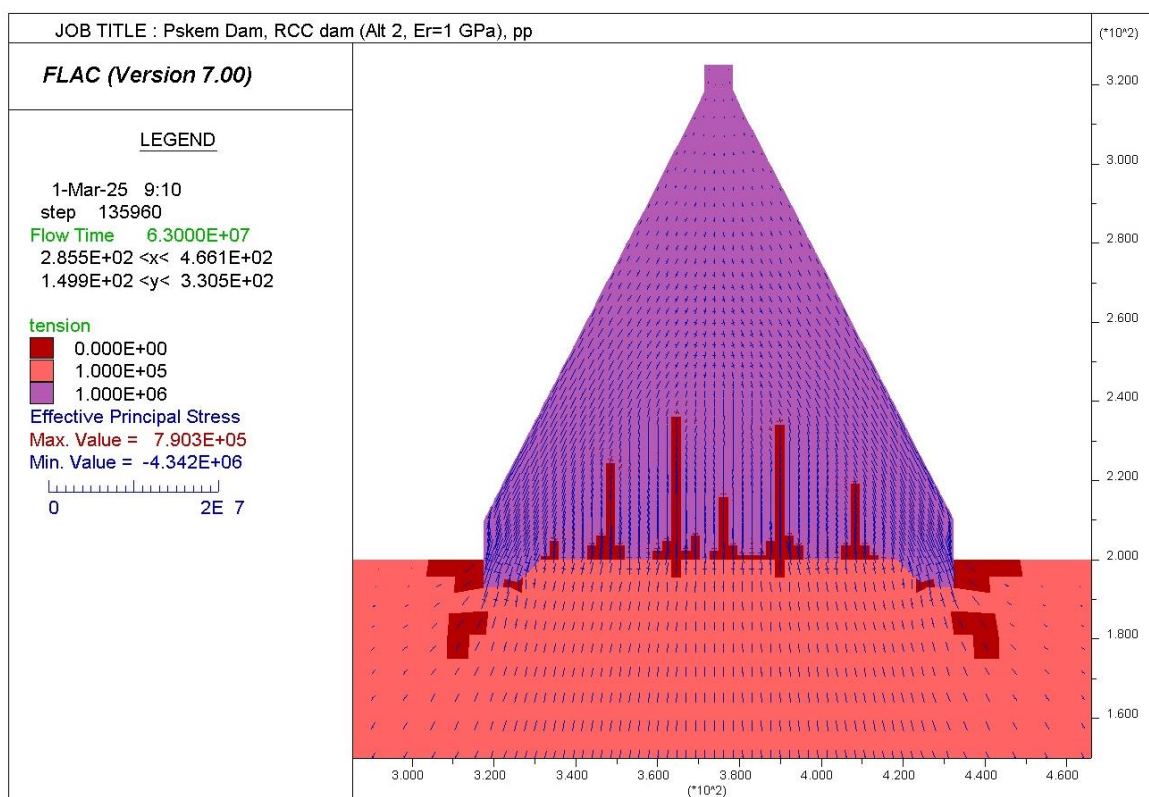


Альтернатива сечения 2

Рисунок 5.7- Эффективные главные напряжения (в Па) по завершении строительства плотины при $E_{\text{гг}} = 1,0$ ГПа



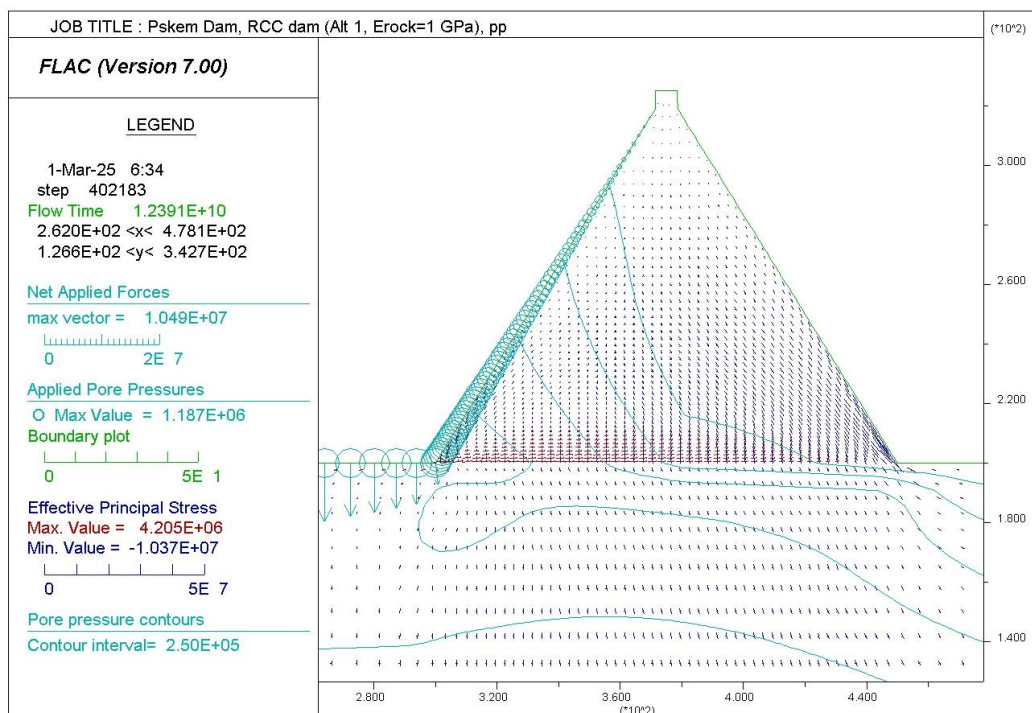
Альтернатива сечения 1



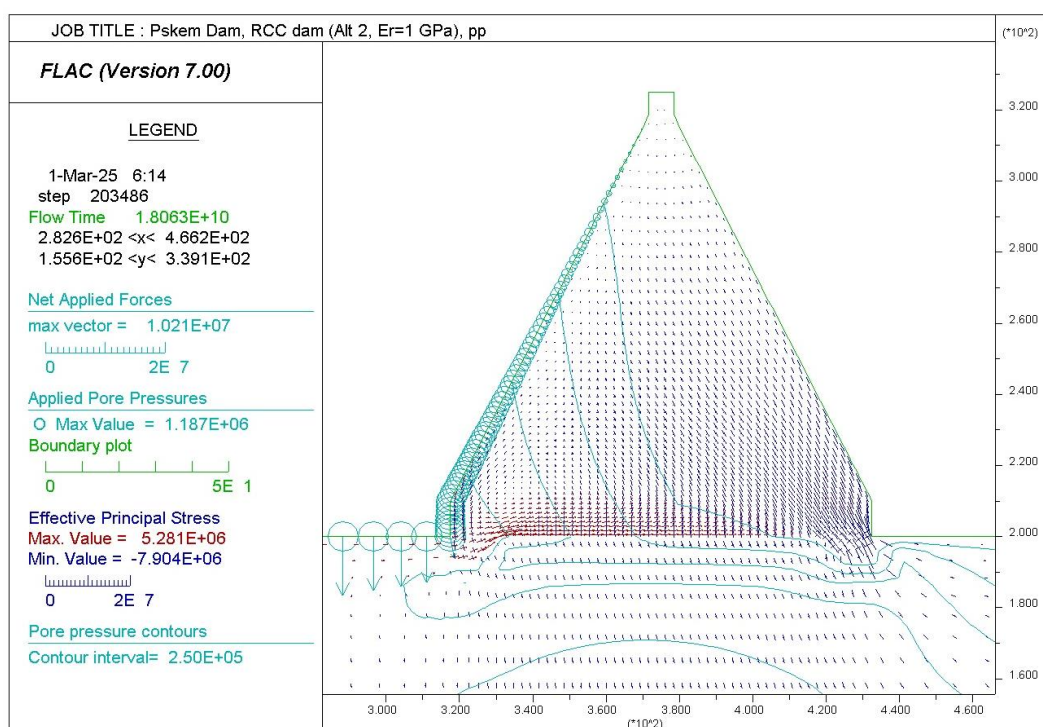
Альтернатива сечения 2

Рисунок 5.8- Эффективные главные напряжения (в Па) по завершении строительства плотины при $E_{rm} = 1,0$ ГПа

(Эти графики в некоторой степени показывают потенциал зон высокого растяжения (красные зоны), которые могут привести к образованию трещин в теле плотины)



Альтернатива сечения 1



Альтернатива сечения 2

Рисунок 5.9- Поровые давления и главные напряжения в эксплуатационный период (собственный вес + гидростатическое давление) при $E_{rm} = 1,0$ ГПа

Обзор результатов анализа ясно иллюстрирует ускоряющуюся тенденцию как растягивающих напряжений, так и осадок основания при значениях модуля деформации (E_{rm}) ниже 1,0 ГПа. Для лучшего понимания реакции плотины на ослабление основания вариации этих параметров представлены на Рисунке 5.9.

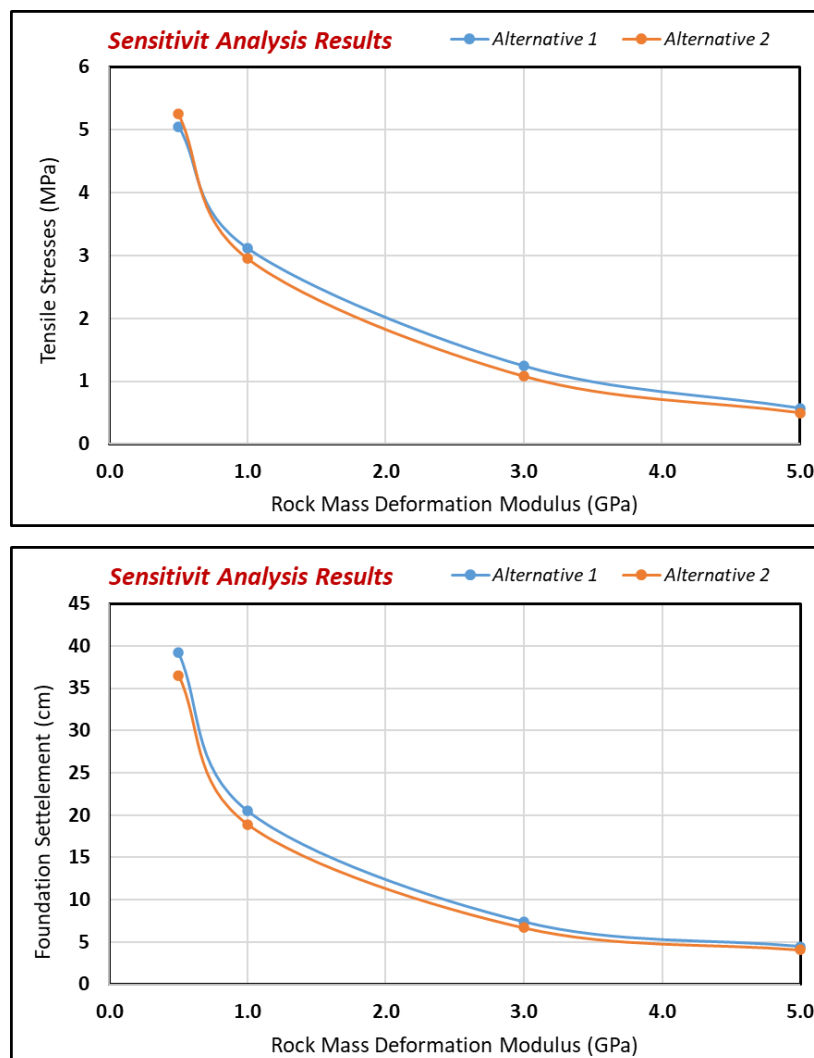


Рисунок 5.10- Потенциальные растягивающие напряжения и осадки основания, соответствующие различным E_{rm}

Из графиков можно сделать следующие выводы:

- Тенденция исследуемых параметров может быть разделена на три четко выраженные зоны в зависимости от значений E_{rm} : «> 3,5 ГПа», «1,0–3,5 ГПа» и «< 1,0 ГПа».
- При значениях E_{rm} **выше 3,5 ГПа** реакция плотины остается стабильной и безопасной, с низкой чувствительностью к изменениям модуля деформации основания.
- При значениях E_{rm} **ниже 1,0 ГПа** плотина демонстрирует критическое и потенциально нестабильное поведение.
- В промежуточном диапазоне **1,0–3,5 ГПа** реакция является переходной: меньший модуль деформации приводит к увеличению растягивающих напряжений и большим осадкам основания.
- В качестве окончательного вывода значение E_{rm} **около 2,0 ГПа можно считать нижним безопасным и приемлемым пределом для модуля деформации основания.**

5.3.4. Меры по укреплению плотины (в случае слабого основания)

На основе интерпретации геологических и геотехнических исследований и результатов испытаний модуль деформации основания на площадке плотины Пскем варьируется от примерно **2,3 ГПа на левом устое до 3,5 ГПа в центре и на правом устое**. Соответственно, численные анализы показывают, что альтернатива RCC-плотины технически осуществима и безопасна для условий площадки Пскем.

Однако, чтобы учесть возможность выявления менее благоприятных условий основания в будущих исследованиях, были рассмотрены следующие потенциальные меры по укреплению:

- **Укрепление основания плотины**, как схематически показано на Рисунке 5.11;
- **Дополнительная обработка основания**, включая глубокое консолидационное цементирование, дополнительные цементационные завесы и усиленные дренажные завесы (см. Рисунок 5.12).
- **Расширение основания плотины**, особенно в нижних секциях плотины (ниже отметки 1020 м), где долина значительно сужается, как показано на Рисунке 5.13;

Реализация одной или нескольких из этих мер будет зависеть от результатов будущих, более детальных испытаний и анализов, которые должны основываться на обновленных и более надежных геотехнических параметрах.

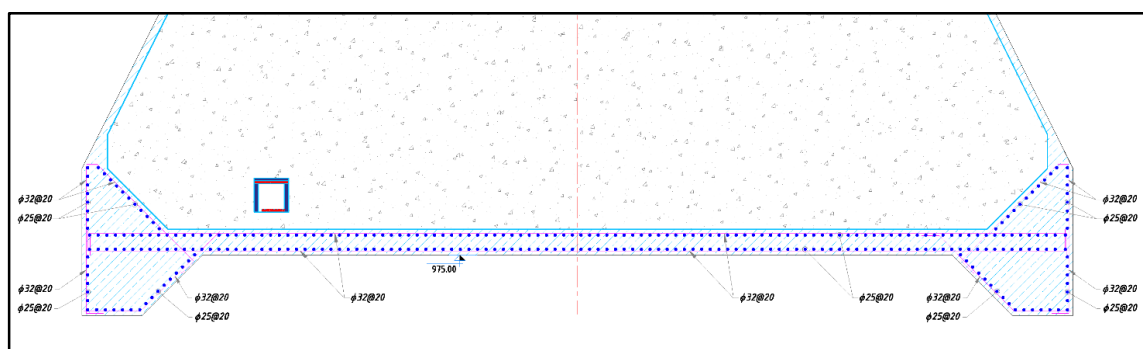


Рисунок 5.11- Укрепление основания плотины в случае менее благоприятных условий основания

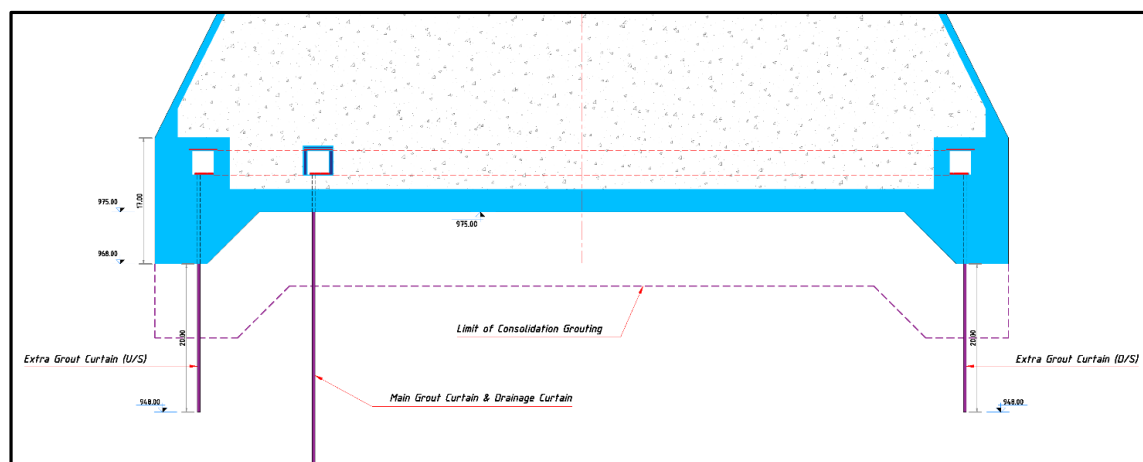


Рисунок 5.12 - Дополнительная обработка основания
(глубокое консолидационное цементирование, дополнительные цементационные завесы и усиленные дренажные завесы)

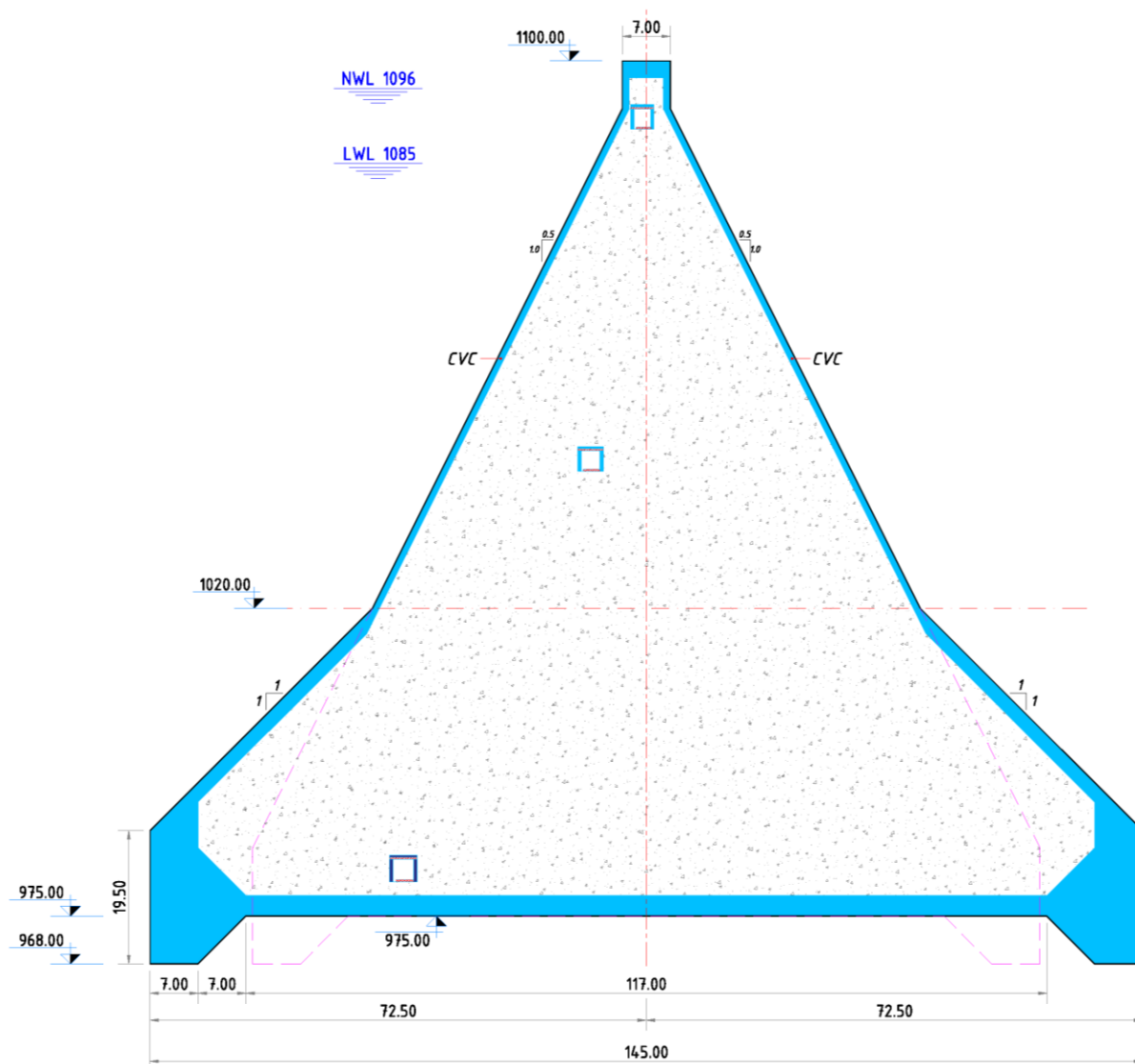


Рисунок 5.13- Расширение основания плотины, особенно в нижних секциях плотины

5.4. Проектирование водосбросных сооружений

5.4.1. Автоматический водосброс на гребне плотины

На текущем этапе исследований был выполнен общий проект водосброса, и детали представлены в обновленном альбоме чертежей.

Переливной автоматический поверхностный водосброс выполняется в центральной (русловой) части плотины. Предназначен для сброса до $500 \text{ м}^3/\text{с}$ паводковых расходов высокой обеспеченности при повышении горизонта воды перед плотинной выше отметки НПУ=1096,0 м до отм. ФПУ=1098,0 м.

Переливная трасса водосброса разделена бычками на 4 пролета по 15 м, очерчена по кривой свободной поверхности, низовая грань выполнена ступенчатой для гашения энергии потока по мере движения. Колодец-гаситель в нижнем бьефе выполнен шириной 54 м и длиной 35 м, глубина колодца 12 м. Водосливная грань плотины и колодец-гаситель выполнены в бетоне марки В30.

Более точный анализ и оптимизация водосброса на гребне должны быть выполнены на следующем этапе проектирования.

5.4.2. Донный водовыпуск

Донный водовыпуск спроектирован в теле плотины, примыкающей с правой стороны от поверхностного автоматического водосброса, пропускная способность водовыпуска 220 м³/с.

Высотная посадка и размеры донного водовыпуска определены для возможности глубокой сработки водохранилища по требованиям водного хозяйства в маловодные годы, в аварийных ситуациях и для управления заилением. Пропуск расходов через донный водовыпуск позволит выполнить осмотр и, при необходимости, ремонт правобережного водоприемника.

Порог донного водовыпуска на отметке 1035,5 м, выход – на отм. 1030,0 м, трасса водовыпуска длиной 71,2 м проложена сквозь тело плотины в вибрированном бетоне марки В30 со стальной облицовкой. Входное сечение конфузور от 7,0х9,0 м до 5,0х4,0 м, выходное – 3,38х2,5 м.

На входе водовыпуск оснащен плоским ремонтным затвором, поднимаемым по наклонным направляющим на гребень плотины при помощи канатного механизма. На выходе устроена камера с плоскими аварийно-ремонтным и рабочим затворами, управляемыми гидроприводами.

Отброс потока на выходе выполняется струенаправляющим носком в водобойный колодец, расположенный рядом с колодцем-гасителем поверхностного водосброса.

Детали проектирования донного водовыпуска указаны в альбоме чертежей. Более точный анализ и проектирование донного водовыпуска должны быть выполнены на следующем этапе проектирования.

5.4.3. Отводящий канал водосбросов

Обеспечивает отвод сбрасываемых расходов вдоль русла реки. Отводящий канал протяженностью 700 метров выполняется шириной от 79,4 м до 37,1 м в вертикальных подпорных стенках высотой от 12 до 10 м. Правая стенка формирует пристанционную площадку отм. 986,0 м. Левобережная подпорная стенка выполняется в выемке левого берега. Предусмотрена поярусная разработка откоса на высоту 60 м уступами по 10 м и технологическими бермами по 5 м. Крепление откоса выполняется предварительно напряженными анкерами длиной 26 м и стальными анкерами длиной 11,7 м диаметром 32 мм.

5.5. Проектирование гидромеханического оборудования

Базовый проект гидромеханического оборудования — с соответствующими деталями и спецификациями — необходим для оценки стоимости этого оборудования. Поэтому были подготовлены более подробные проектные и спецификационные документы для всех компонентов гидромеханического оборудования.

Описание, принципы проектирования и основные характеристики оборудования приводятся в настоящем разделе, детальные спецификации даны в Приложении 2 к настоящему тому.

Гидромеханическое оборудование устанавливается в донном водовыпуске; поверхностный водосброс работает в автоматическом режиме и оборудованием не оснащен.

Водозаборное отверстие донного водовыпуска оборудуется комплектом ремонтного затвора 4,0 x 5,0 м с фиксированными колесами, включающем две стальные конструктивные секции с уплотнениями, электромеханический подъемник (лебедка), электрические и управляющие системы, байпасную систему, подъемные и фиксирующие приспособления, все встроенные части, включая подшипники, направляющие пути, уплотнения, рельсы и закладные части. Затвор будет перемещаться по рельсам с углом наклона 72 градуса от гребня плотины на высоте 1100,00 м над уровнем моря.

В камере затворов в конце водовыпуска подлежат установке:

- два комплекта скользящих затворов (один аварийный 2,5x3,37 м, один рабочий 2,5x3,12 м), включающих два высоконапорных, направляемых, вертикальных скользящих затвора с затворным полотном, кожухами затворов, байпасными системами, гидравлическими подъемниками, электрическими и управляющими системами, фитингами и соединениями, необходимыми для работы затворов;
- один комплект козлового крана г.п. 20 тн для камеры затворов, включающий основной подъемник, электрические и управляющие системы, устройства безопасности, освещение, фитинги и соединения, запасные части и специальные инструменты. Пролет 8,5 м, максимальная высота подъема 15,0м.

Один комплект стальной облицовки и принадлежностей предусмотрен для установки в проточную часть донного водовыпуска, включая раструбы, короба, прямые трубы и переходные участки. Минимальная толщина облицовки не должна быть менее 15 мм.

6. ПРОЕКТ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

6.1 Общие сведения об укатанном бетоне RCC

Укатанный Бетон (RCC), представляет собой жесткую бетонную смесь, достаточную чтобы выдерживать оборудование для разравнивания и уплотнения непосредственно сразу после распределения на запланированном участке. Основное отличие состоит в том, что RCC содержит крупнозернистый заполнитель и имеет свойства, аналогичные обычному классическому вибрированному бетону.

Одной из особенностей RCC, способствующей экономии, является быстрый процесс укладки и уплотнения с помощью земляных и уплотнительных машин. Как и в большинстве других строительных процессов, чем быстрее осуществляется укладка, тем дешевле становится укатанный бетон RCC.

В случае с плотинами более быстрое распределение означает меньшее время между укладкой слоёв, что приводит к улучшенной прочности и водопроницаемости слоёв. Обычно в практике темпы производства могут приниматься от 35 до 150 м³/ч - для небольших проектов сооружений из укатанного бетона RCC, от 150 до 350 м³/ч - для средних проектов и от 350 до 750 м³/ч для крупных объектов из укатанного бетона RCC.

Темпы производства укатанного бетона RCC являются результатом одновременной и скоординированной работы нескольких систем: производства щебня, песка, дозирование и смешивание материалов, транспортировка, укладка, распределение и уплотнение бетонной смеси RCC, контроль качества, и другие операции.

Эти связанные операции включают в себя укладку фундамента, строительство дренажных галерей, а также работы по сооружению водопропускных сооружений. Обычно необходимо накопить большие запасы инертных до начала укладки укатанного бетона RCC, чтобы в любой момент во время производства были в наличии достаточные резервы на складе.

Достаточные запасы особенно важны, если инертные требуют дополнительной обработки или транспортировки на большое расстояние. Потенциал для быстрой укладки RCC также предоставляет проектировщику возможность отслеживать время укладки до определенных моментов, чтобы воспользоваться прохладной или теплой погодой для контроля температуры укатанного бетона RCC.

В проекте учтена взаимосвязь и характеристики каждой из систем, таким образом, чтобы требования этих систем соответствовали общим требованиям производства. По возможности заключения следует обеспечить гибкость в управлении темпами производства RCC, при обоснованном выполнении установленных сроков. Это позволит наиболее эффективно сочетать материалы, оборудование и трудовые ресурсы. Требуемые сроки графика производства работ должны быть четко обоснованы с выполнимыми мерами контроля для их соблюдения.

Укатанный бетон укладывают и уплотняют слоями по 30 см, чтобы уменьшить расслоение составляющих смеси в пределах слоя и соответственно водопроницаемость и увеличить прочность бетона. Рецепт укатанного бетона RCC, которая будет использована во время проведения полномасштабного бетонирования, должна быть определена с учетом наиболее подходящих результатов испытаний и исследования смесей при подборе оптимального состава.

Температурные условия при производстве бетонных работ по укладке укатанного бетона в тело плотины имеют важное значение для обеспечения качества и долговечности конструкции. Основные аспекты контроля температурных условий включают:

Оптимальный диапазон температур для укладки укатанного бетона: от +5 °С до +30 °С.

При температуре ниже +5 °С необходимо предусмотреть мероприятия по защите бетона от замерзания, такие как:

- Подогрев смеси;
- Использование противоморозных добавок;
- Укрытие уложенного бетона термоизоляционными материалами.

При температуре выше +30 °С следует учитывать риск быстрого испарения воды и возможность образования трещин для этого необходимо предусмотреть меры по защите бетона:

- Увлажнение смеси;
- Защита поверхности от прямого солнечного воздействия;
- Использование замедлителей схватывания.

6.2 Технические указания к материалам

Заполнители

Заполнители должны быть получены из карьеров или других источников, одобренных специалистами лаборатории Заказчика и проектной компанией, в соответствии с требованиями технических спецификаций. Заполнители для приготовления бетонной смеси должны быть чистыми, прочными, твердыми, однородными и без каких-либо загрязнений. Качество заполнителей должно в целом соответствовать ASTM C 33.

Истирание дробленого материала (щебня) должно исследоваться по тесту Лос-Анжелеса (ASTM C 131) и потеря веса после 5-кратного испытания с раствором сульфата натрия (ASTM C 88) не должны превышать 35% и 12% соответственно.

Касающиеся дробленого песка по согласованию с проектной компанией более мелкие зерна, чем сито № 200, в основном не содержащие глину или сланца, допустимый максимальный процент таких более мелких зерен такого грунта может быть увеличен до 7%.

Потеря веса песка после пятикратной промывки раствором сульфата натрия (ASTM C 88) не должна превышать 10%. Песок не должен содержать вредных и/или органических примесей.

Цемент, зола уноса, вода и добавки

Цемент должен поставляться от назначенных производителей и из квалифицированных источников. Цемент не должен использоваться до тех пор, пока не будет получено уведомление о том, что результаты испытаний удовлетворительны. Цемент, который не был использован в течение шести месяцев после испытаний, должен быть повторно исследован за счет Подрядчика. В случае отрицательных результатов цемент должен быть немедленно удален с места проведения работ.

Цемент и зола уноса (зола уноса) должны перевозиться такими транспортными средствами и таким образом, чтобы не подвергаться неблагоприятному воздействию климатических условий (ветер, дождь, снег и т. д.). Распакованный цемент должен немедленно храниться в идеально герметичных и надлежащим образом проветриваемых металлических силосах, чтобы избежать увлажнения цемента. Емкость хранения должна быть достаточной как минимум на 15 дней, исходя из пиковой скорости графика бетонирования. Подрядчик должен подготовить отдельное хранилище или силосы для хранения новых партий цемента, чтобы обеспечить проведение испытаний по мере необходимости перед его перемещением в основные силосы.

Вода, используемая для промывки заполнителя и бетонной смеси, должна быть свежей, чистой и не содержать примесей, таких как масло, кислота, соль, щелочь, органические вещества и другие вредные вещества.

Добавки

Добавки, такие как воздухововлекающая добавка, замедлитель схватывания, пластификатор, микрокремнезем, ускоритель схватывания и другие, должны использоваться только в случае письменного одобрения начальника лаборатории проектной компании и в соответствии с ASTM C 494 или ASTM C 1017. Использование этих материалов должно соответствовать инструкциям ACI 212.2 и ACI 212.3R.89, а также ASTM C 494.

Поливинилхлоридные гидрошпонки (WATERSTOP)

Гидрошпонки из поливинилхлорида (ПВХ) должны использоваться для гидроизоляции деформационных швов плотины и других компенсационных и деформационных швов, как указано в проектных чертежах. Гидрошпонки должны быть плотными, однородными, без полостей и сот, царапин и других дефектов. Гидрошпонки должны соответствовать спецификациям, определенным Инженером, и проектной документации.

Подрядчик должен принять соответствующие меры для правильной и надежной установки гидрошпонок и убедиться, что нежелательное крепление гидрошпонок для предотвращения просачивания воды.

Опалубка

Опалубка и строительные леса должны быть подготовлены Подрядчиком. Использование поврежденных, деформированных и грязных форм не допускается. Формы должны быть спроектированы таким образом, чтобы обеспечить возможность укладки бетона и вибрации соответствующим образом, и должны быть достаточно упругими, чтобы выдерживать различные давления бетона.

Опалубка должна быть достаточно прочной и водонепроницаемой, чтобы предотвратить вытекание бетона или вытекание раствора. Опалубка не должна препятствовать ползучести и/или усадке бетона, что может привести к нежелательным трещинам на поверхности бетона.

Опалубка должна быть достаточно прочной и водонепроницаемой, чтобы предотвратить вытекание бетона или вытекание раствора. Опалубка не должна препятствовать ползучести и/или усадке бетона, что может привести к нежелательным трещинам на поверхности бетона.

Опалубка, которая будут использоваться для водоводов и поверхнорстей, должны иметь подходящее гладкое покрытие, такое как стальная пластина или фанера. Никакие локальные дефекты, такие как поврежденная фанера или болты в стальных формах, не допускаются.

Снятие опалубки производить без ударов молотком и только статическими силами. Не допускаются удары по опалубке и резкое ее снятие, которые могут привести к повреждению бетонной поверхности. В случае, если после снятия опалубки будет замечено, что поверхность бетона имеет дефекты, Подрядчик обязан сообщить об этом представителю авторского надзора для исследования состояния поверхности бетона и принятия соответствующих мер, рекомендованных Инженером. Соответствующие меры должны быть оперативно выполнены Подрядчиком за свой счет для устранения любых повреждений поверхности бетона.

Арматура

Подрядчик обязан поставлять, хранить, резать, сгибать и устанавливать все арматурные стержни, анкерные болты, как требуется и указано в чертежах или согласовано авторским надзором. Вся арматура должна быть свободна от любых сыпучих материалов, загрязнений, клеевых слоев, масла, смазки, грязи, раствора или любых видов примесей, которые могут снизить адгезию с бетоном или вызвать какие-либо повреждения. Вся арматура должна быть закреплена на месте до заливки бетона. При необходимости бетонирование должно производиться в несколько слоев, и перед каждым новым слоем бетона арматура должна быть очищена от раствора, засохших кусков бетона и любых других загрязнений.

Арматурные стержни должны быть размещены в надлежащих положениях, как показано на чертежах, с помощью проволоки и растворных/стальных/пластиковых распорок в достаточном количестве. Использование стальных распорок не допускается, если после снятия форм они будут подвергаться коррозии. Не должно быть возможности перемещения и смещения арматуры во время бетонирования и вибрации.

6.3 Подготовительные работы перед бетонированием RCC

Подготовка площадки для укладки

Скальное основание, бортовые примыкания к скале, бетон и другие поверхности, подлежащие бетонированию, должны быть очищены от любых загрязнений, таких как масло, смазка, вода (как текущая, так и стоячая), грязь, отходы штукатурки, грязь и другие мелкие частицы перед началом бетонирования. Все рассматриваемые поверхности должны быть очищены перед бетонированием струей воды, сжатым воздухом, щеткой или другой их комбинацией. Подрядчик должен принять необходимые меры для удаления текущей или стоячей воды с фундаментов.

Поверхность скального основания должна быть защищена от выветривания. Подлежащая бетонированию коренная порода должна быть твердой, свежей и без трещин. При необходимости выемка поверхности скального основания на последние 50 см толщины должна производиться непосредственно во время подготовки коренной породы к бетонированию.

В случае задержки бетонирования после подготовки скального основания, поверхность скалы необходимо снова очистить перед началом бетонирования.

Швы, трещины, зоны разломов и зоны раздавливания должны быть обработаны «расшиты», как указано в технических спецификациях и проектных чертежах. Трещины, образовавшиеся после расчистки полости заполняются плотным бетоном с $MSA=19$ мм. Все неровности должны быть удалены с поверхности, подлежащей бетонированию, в соответствии с указаниями Инженера.

Все поверхности должны быть влажными в течение 12 часов непрерывно перед бетонированием. На очищенные поверхности скалы должен быть нанесен слой раствора толщиной 10 мм с содержанием цемента 550 кг на кубический метр, после чего сразу же следует залить бетон поверх указанного свежего раствора

Площадка для укладки должна быть очищена от снега, льда и наледи и утеплена при помощи термоизоляционных материалов или прогчета тепловыми пушками. Температура основания должна быть не ниже $+5^{\circ}\text{C}$.

Приготовление бетонной смеси

Компоненты смеси (вода, цемент, наполнители) подогреваются:

Вода для замеса – до $+60$ $+80^{\circ}\text{C}$.

Заполнители – до $+30$ $+50^{\circ}\text{C}$ (в тепловых бункерах или с помощью парового прогрева).

Цемент хранят в утепленных или обогреваемых помещениях.

В смесь добавляют противоморозные добавки, такие как:

- Нитрат кальция;
- Нитрат натрия.

Эти добавки снижают температуру замерзания воды и ускоряют набор прочности.

Транспортировка смеси

Смесь транспортируется в утепленных или подогреваемых бетоносмесителях, чтобы сохранить ее температуру в пределах $+10$ – 25°C . Время транспортировки минимизируется, чтобы избежать охлаждения смеси. При укладке температура смеси должна быть не ниже $+5^{\circ}\text{C}$. Используются виброкатки для уплотнения, как и в летний период, но операции проводятся быстрее, чтобы избежать охлаждения смеси.

Защита и уход за бетоном

Уложенный бетон необходимо защитить от потери тепла:

- Укрывают термоизоляционными материалами (брезент, геотекстиль, пенопластовые маты).
- Организуют тепловую обработку (обогрев тепловыми пушками, паровыми системами или электронагревателями).
- При необходимости используют тепляки (временные укрытия над рабочей зоной).
- Контролируют температурный режим бетона, чтобы его охлаждение происходило равномерно и не быстрее, чем на 10°C в сутки.

- Постоянный мониторинг температуры смеси и уложенного бетона с помощью термомпар или других датчиков.
- Проведение испытаний образцов бетона на прочность в лабораторных условиях.

6.4. Подбор рецептуры бетонной смеси

Массовые или объемные соотношения заполнителя, воды, цемента и, при необходимости, добавок, используемых при производстве бетона, должны быть определены таким образом, чтобы полученный бетон имел все качества, указанные в строительных чертежах и требованиях.

Программа пробных смесей должна быть составлена Подрядчиком и рассмотрена специалистом проектной компании до начала программы пробных смесей. Подрядчик должен подготовить пробные смеси, используя хорошо зарекомендовавшие себя процедуры, такие как приведенные в ACI 211.1 и ACI 207.5R, и в соответствии с инструкциями специалиста проектной компании. Все ингредиенты смеси и их соотношения должны быть указаны по массе в килограммах на кубический метр. Особо важные испытания должны проводиться под контролем специалиста проектной компании. Целью программы должно быть создание бетонных смесей, удовлетворяющих требованиям по прочности, с оптимальными характеристиками долговечности и проницаемости и с минимально возможной восприимчивостью к щелочно-агрегатной реакции.

Проекты бетонной смеси должны быть согласованы с предполагаемой методикой укладки и охлаждения бетона Подрядчика. Подрядчик должен приготовить пробные бетонные смеси для различных классов под руководством специалиста проектной компании, чтобы определить наилучшие пропорции компонентов бетона для обеспечения максимальной плотности, минимального содержания воды, минимальной проницаемости, удовлетворительной удобоукладываемости и заданной прочности.

Подрядчик должен провести предварительные испытания смесей на основе ASTM C192 и ASTM C39 в сроки, указанные в Таблице 1.1.

Таблица 6.4.1. Испытание на прочность на сжатие

Тест	Возраст теста (дни)				Метод	Требование
	7	28	90	180		
Прочность на сжатие	3	3	3	3	Будет указано по усмотрению Инженера.	Прочность на сжатие в течение 28 дней $\geq f'_c + 5$ МПа

1. Примечания:

1. В случае использования образцов кубической формы для испытаний на прочность на сжатие размеры форм должны быть не менее чем в три раза больше максимального диаметра используемого гравия. Должен применяться соответствующий коэффициент преобразования прочности на сжатие кубических образцов в цилиндрические.

2. В случае, если MSA превышает 38 мм, и если инженером указаны образцы большего размера, для корректировки должны быть применены коэффициенты мокрого просеивания и преобразования размеров образцов.

Бетонные образцы должны быть покрыты серным раствором в соответствии с требованиями ASTM C617. Испытания на осадку и содержание воздуха, а также изготовление цилиндрических образцов размером 15х30 должны проводиться для свежезамешанного бетона с размером пор 38 мм, просеянного по мокрому методу.

Ориентировочные бетонные смеси должны указывать, что предлагаемые пропорции смеси будут развивать среднюю прочность на сжатие, равную или превышающую требуемую среднюю прочность, и в то же время соответствовать максимально допустимому соотношению вода/цемент.

Подрядчик должен подготовить отчет о проектировании смеси, подтверждающий, что предлагаемые пропорции смеси являются оптимальными, по крайней мере, за 5 месяцев до бетонирования.

Каждая пробная партия смеси должна содержать как минимум на 10 % больше количества, необходимого для испытаний на свежем бетоне плюс испытательные цилиндры.

Соотношения зрелости и прочности, необходимые для контроля качества (отношения между 7-дневной, 28-дневной и 90-дневной прочностью). Кривые зрелости/прочности строятся по усмотрению специалиста проектной компании.

Свойства усадки и набухания бетона должны определяться для монолитных бетонов и любых других классов бетона, указанных инженером, в соответствии с ASTM C157, C596 и т. д.

6.5 Технология укладки укатанного бетона RCC и программа производства работ

Генеральный план строительства плотины Пскемской ГЭС с встроенными водопропускными сооружениями и отводящем каналом разделен на два комплекса.

Строительные работы по второму комплексу возможно начать в 2026 году в марте месяце, к таким работам относятся земляные работы по устройству котлована под плотину, крепление откосов торкретбетоном по сетке с установкой анкеров из арматуры на глубину до 12м, устройство необходимых подъездных дорог, временных съездов и подходных штолен. Цементационные работы по укреплению основания плотины, основные работы по бетонированию тела плотины, исходя из объемов земляных работ, возможно начать с 2027 года. Глубокая цементационная завеса может быть начата по мере готовности цементационных галерей.

В период подготовительных работ до начала строительства основных сооружений должна быть осуществлена закупка и монтаж оборудования для производства и транспортирования бетона в тело плотины.

В 2027 году после окончания холодного сезона (с декабря по середину марта) начнется бетонирование плотины.

Строительство здания гидроэлектростанции может быть начато параллельно по мере готовности котлована, наличия ресурсов и оборудования вне зависимости от строительных работ по бетонной плотине.

Согласно графику производства работ, земляные работы на левом берегу начинаются с марта 2026 г. Объем нескального грунта четвертичных отложений на левом берегу составляет около 280 тыс. м³, скального грунта (БВР) составляет порядка 1,54 млн.м³. Разработку котлована на левом берегу планируется вести с нескольких отметок одновременно. Грунт выемки вывозится в отвал на левом берегу на расстояние до 4 км.

В связи с особенностью скальной породы (алевролита, песчаника, аргиллита и т.п.) обнаженная поверхность котлована – выполненная способом контурного взрывания должна быть закрыта торкретбетоном по сетке для исключения выветривания и нарушения текстуры в срок до двух дней, в ином случае необходимо провести работы по очищению и разборке обнаженной поверхности до стабильной, здоровой скалы. Поверхность перед нанесением торкретбетона должна быть продута, очищена от отдельных свободнолежащих кусков и, при необходимости, промыта.

Земляные работы на правом берегу начинаются также с марта 2026 г. Объем нескального грунта четвертичных отложений на правом берегу составляет около 170 тыс.м³, скального грунта (БВР) составляет порядка 320 тыс.м³. Разработку котлована на правом берегу планируется вести сверху вниз. Грунт выемки вывозится в отвал на левом берегу на расстояние до 5 км.

Обнаженная поверхность котлована – выполненная способом контурного взрывания - должна быть также закрыта торкретбетоном по сетке для исключения выветривания и нарушения текстуры в срок до двух дней, в ином случае необходимо провести работы по очищению и разборке обнаженной поверхности до стабильной, здоровой скалы. Поверхность перед нанесением торкретбетона должна быть продута, очищена от отдельных свободнолежащих кусков и при необходимости промыта.

Котлован русловой части может начаться по завершению разработки грунта левого и правого берега. Ориентировочный срок начала работ межженный период 2026/2027 года.

Выемка грунта под котлован водобойного колодца и отводящего канала может выполняться параллельно с устройством котлована левого и правого берега. Объем нескального грунта составляет около 134 тыс. м³, скального грунта (БВР) составляет порядка 963 тыс.м³. Обнаженная поверхность котлована – выполненная способом контурного взрывания должна быть также закрыта торкретбетоном по сетке для исключения выветривания и нарушения текстуры в срок до двух дней, в ином случае необходимо провести работы по очищению и разборке обнаженной поверхности до стабильной, здоровой скалы. Поверхность перед нанесением торкретбетона должна быть продута, очищена от отдельных свободнолежащих кусков и, при необходимости, промыта.

В 2026 году, в дополнение к вышеупомянутым мероприятиям, все оборудование, необходимое для производства бетона, включая бетонный завод, дробильно-сортировочное хозяйство для дробления заполнителей, ледогенератор для производства льда, в качестве охладителя бетона, конвейерные ленты для транспортировки бетона в тело плотины, лабораторное оборудование для контроля, техника и механизмы, необходимые в процессе укладки укатанного и вибрирования бетона, должно быть закуплено и установлено.

Дробильно-сортировочное хозяйство и бетонные заводы должны быть готовы к эксплуатации не позднее марта 2027 года, они нужны для устройства выравнивания основания плотины и заливки бетона, без этого оборудования, реализация проекта будет остановлена.

Дробильно-сортировочное хозяйство должно начать работу с начала 2027 года, исходя из производительности (около 722 тн/час); с сентября 2027 по январь 2028 года возможно будет произвести и складировать дробленые заполнители в объеме около $V=1,2$ млн. тонн (не жаркое время года), что очень удобно с точки зрения предварительного охлаждения заполнителей.

Что касается начала укладки бетона, плотина разделена на пять зон в зависимости от марки бетона и геометрии плотины.

Одним из очень важных моментов, о котором следует сказать, является чувствительность процесса твердения массивного бетона к разнице температур окружающей среды и уложенного бетона. Отклонения от температур, указанных в стандартах и нормах, очень вредны и опасны и их следует избегать, соблюдая температурный режим и требования по уходу за бетоном. Поэтому одним из основных показателей при укладке массивного бетона является температура укладки, а также разница температур между температурой окружающей среды и уложенным бетоном.

Среднемесячная температура окружающего воздуха в районе строительства Пскемской плотины и ГЭС указана в Таблице 9.5.

Таблица 6.5.1 Среднемесячная температура окружающего воздуха в районе строительства Пскемской плотины и ГЭС

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Среднемесячная температура воздуха, °C	-3.2	-2.0	2.8	10.0	14.5	18.7	22.0	21.7	16.8	10.0	3.6	-1.1	9.5

Таблица 6.5.2. Среднемесячная температура воды (°C) р. Пскем за период 1964 - 2015гг.

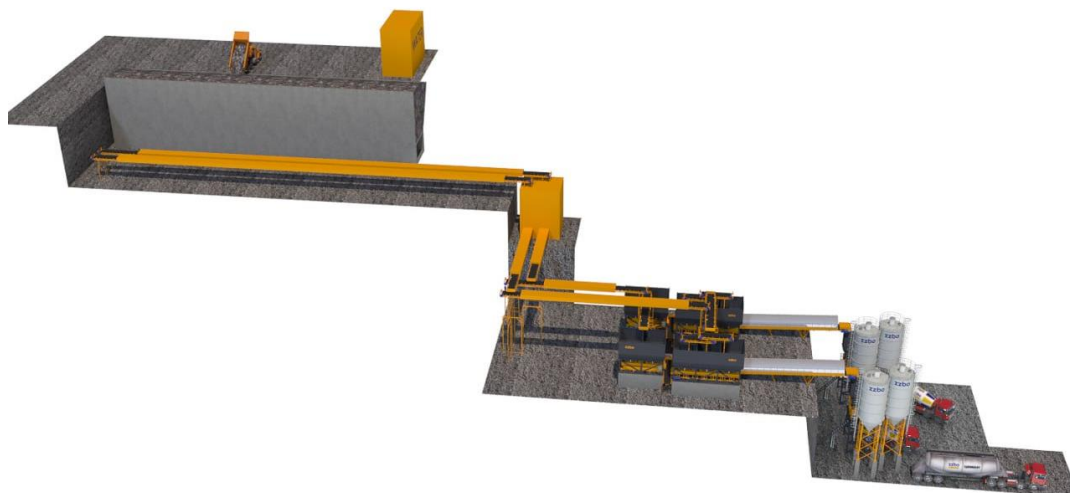
Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Ср. год.
Среднемесячная температура воды, °C	1.9	2.6	5.5	8.2	9.2	9.8	11.0	11.6	10.3	7.5	4.9	2.8	7.1

Ссылаясь на среднемесячные температуры окружающего воздуха и воды в реке Пскем, указанные в таблицах, можно сделать выводы, что с середины ноября до середины марта выполнение бетонных работ невозможно, должно быть остановлено и возобновлено с середины апреля.

6.6 Производство укатанного бетона, транспортировка и укладка

Смесь для укатанного бетона будет производиться на бетонных заводах Подрядчика и транспортироваться в участок бетонирования в первые блоки бетонирования самосвалами. После обеспечения условий, монтажа всех участков конвейерной ленты, установки

свингера, приемных бункеров, подача бетонной смеси осуществляется с помощью конвейерной ленты.



Для производства бетона RCC на стройплощадке Пскемской плотины – на левом берегу со стороны низового откоса предусмотрен комплекс сооружений по приготовлению бетона для плотины, который включает в себя главные приемные бункеры для инертных, подштабельную галерею с ленточным транспортером, фундаментную часть оборудования, вибростол, бункеры-дозаторы, два бетонных завода производительностью по 150м³/час, ледогенератор, силосы для хранения цемента и золы уноса.



Бетонные заводы для производства бетона RCC включает в себя склады заполнителей, транспортер для подачи инертных материалов, смеситель и систему выгрузки. Рекомендуемые практики для каждой из этих систем содержатся в технических условиях руководства. Многие из рекомендуемых практик для производства обычного бетона применимы к производству RCC.

6.7. Производство бетона. Бетонный завод

Так, при составлении графика строительных работ общая продолжительность уплотненного бетонирования должна быть принята за 8 месяцев в году.

Предполагаемая продолжительность:

Средний объем укладки укатанного бетона в плотину в месяц при работе 8 месяцев составляет:

$$2\,100\,000\text{ (м}^3\text{)}/8\text{(мес)}*3\text{(года)} = 87\,500\text{ (м}^3\text{/мес)};$$

Среднесуточный объем укладки укатанного бетона RCC в плотину составляет:

$$87\,500\text{(м}^3\text{/мес)}/25\text{ (дн)} = 3500\text{ (м}^3\text{/сутки)};$$

Часовой объем бетонирования из расчета выполнения одного слоя за 16 часов:

$$3500\text{ (м}^3\text{/сутки)}/16\text{(час)} = 219\text{ (м}^3\text{/час)};$$

Эффективная почасовая производительность завода - 219 (м³/час)

Номинальная общая производительность завода с коэффициентом понижения 0,75 равна:

$$219\text{ (м}^3\text{/час)}*0,75 = 165\text{ (м}^3\text{/час)};$$

Исходя из расчета, производительность бетонного завода, должна быть следующей:

Технические характеристики бетонного завода

№№	Наименование	Параметры
1	Производительность бетонных заводов	2х150 м ³ /час
2	Тип миксера	двухвальный
3	Емкость сухой загрузки миксера	5.0 м ³
4	Объем уплотненного бетона	3.5 м ³
5	Максимальный размер заполнителя	50 мм
6	Количество бункеров для заполнителя	5 шт
7	Объем каждого бункера	50 м ³

6.8. Контроль за температурным режимом бетонной смеси

ACI-116R определил «массовый бетон» как «любой объем бетона с размерами, достаточно большими, чтобы потребовать принятия мер, чтобы справиться с выделением тепла от гидратации цемента и сопутствующим изменением объема для минимизации растрескивания».

Одной характеристикой, которая отличает массивный бетон от других бетонных работ, является тепловыделение. Поскольку реакция цемента с водой является экзотермической по своей природе, температура повышается внутри большого бетонного массива, где тепло не рассеивается быстро и может быть довольно высокой. Значительные растягивающие напряжения и деформации могут развиваться в массиве в соответствии с увеличением объема бетона, что напрямую влияет на температуру внутри блока бетонирования.

Следует учитывать возможность растрескивания от термических напряжений как на поверхности, так и внутри массива. Необходимо приняты меры, от образования трещин, которые могут повлиять на потерю структурной целостности и монолитности в массиве из-за термического напряжения.

Одним из ключевых факторов, способствующих снижению риска термического растрескивания в бетонных конструкциях, является контроль температуры бетонной смеси в период укладки. В общем случае, чем ниже температура бетона при переходе из пластичного состояния в упругое в процессе твердения, тем ниже его склонность к образованию трещин. Для массивных сооружений установлено, что снижение температуры укладки на каждые 6 °C ниже средней температуры окружающей среды приводит к уменьшению максимальной температуры внутри бетона примерно на 3 °C.

На строительной площадке Пскемской плотины, с учётом среднегодовых значений температуры воздуха и воды, при отсутствии специальных температуроснижающих мероприятий температура свежеприготовленного бетона в июле — наиболее тёплом месяце — для планируемой бетонной смеси составит 22,0 °C (см. Таблицу 6.5).

Температура бетона RCC после замешивания равна отношению:

$$\text{Суммарное количество теплоты} / \text{Удельная теплоемкость} = 27121/2252,63 = 12,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

На практике конечная температура бетонной смеси получается от энергии замешивания, транспортировки и укладки, примерно 2 °C должны быть добавлены. Окончательная температура укладки бетона, для исключения чрезмерного теплового напряжения в бетоне, будет проведена детальным термическим анализом в утвержденной бетонной смеси, но на этом этапе в соответствии с рекомендациями стандартов, аналогичным проектом и предварительным тепловым исследованием упоминается температура укладки бетона в различных месяцах.

Для достижения указанной температуры укладки бетона необходимо проводить мероприятия по предварительному охлаждению. Были изучены три альтернативные меры:

Вариант 1: охлаждение крупного заполнителя речной водой + 40 кг чешуйчатого льда;

Вариант 2: охлаждение крупного заполнителя речной водой + 40 кг чешуйчатого льда + 20 кг - проработка смеси вода;

Вариант 3: охлаждение крупного заполнителя с помощью проточной воды с температурой 5°C + 35 кг чешуйчатого льда + 20 кг проработка смеси с температурой 5°C.

Баланс теплового расчета принят для июля, как для самого жаркого месяца.

Таблица 6.8.1. Расчет теплового баланса свежего бетона в июле месяце (22,0 °С) с учетом добавления льда и охлажденной воды.

Содержание цемента	140	кг			
W/C	0.9	Воды (кг)	126	кг	
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДЛЯ СВЕЖЕГО БЕТОНА					
Месяц	июль	Средняя температура. Воздуха	22	С°	
		Средняя температура. воды в реке	11.00	С°	
Класс Бетона			RCC G15/50 (f'/c =12 МПа)		
Состав	Вес кг/м3	Удельное тепловыделение, кДж/кг.С	Удельная теплоемкость, кДж/м3.С	Температура компонентов смеси перед замесом С	Суммарное количество теплоты, кДж/м3
Цемент	140	0.88	123.20	50	6160.00
Песок	907	0.75	680.25	22	14965.50
Щебень	1230	0.75	922.50	11.0	10147.50
Влажный песок	21	4.18	88.41	22	1944.95
Дробленая скала влажность	25	4.18	102.83	22.0	2262.22
Охлажденная вода	40	4.18	168.25	5	841.23
Лед	40	-335			-13400.00
Удельная теплота таяния льда	40	4.18	167.20		
Механическое тепло					4200.00
Общий			2252.63		27121.40
Добавление тепловыделения при работе смесителя бетонного завода С					1.10
Температура свежего бетона С					13.14

Таблица 6.8.2. Расчет теплового баланса свежего бетона в августе месяце (22,0 °С)
 без добавления льда и охлажденной воды.

Содержание цемента	140	кг			
W/C	0.9	Воды (кг)	126	кг	
ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ДЛЯ СВЕЖЕГО БЕТОНА					
Месяц	июль	Средняя температура. Воздуха	22	С°	
		Средняя температура. воды в реке	11.00	С°	
Класс Бетона			RCC G15/50 (f'/c =12 МПа)		
Состав	Вес кг/м3	Удельное тепловыделение, кДж/кг.С	Удельная теплоемкость, кДж/м3.С	Температура компонентов смеси перед замесом С	Суммарное количество теплоты, кДж/м3
Цемент	140	0.88	123.20	50	6160.00
Песок	907	0.75	680.25	22	14965.50
Щебень	1230	0.75	922.50	11.0	10147.50
Влажный песок	21	4.18	88.41	22	1944.95
Дробленая скала влажность	25	4.18	102.83	22.0	2262.22
Охлажденная вода	0	4.18	0.00	5	0.00
Лед	0	-335			0.00
Удельная теплота таяния льда	0	4.18	0.00		
Механическое тепло					4200.00
Итого			1917.185		39680.17
Добавление тепловыделения при работе смесителя бетонного завода С					1.10
Температура свежего бетона С					21.80

На основе рассмотренных вариантов для предварительного охлаждения предлагается вариант 2. Для этого варианта мощность оборудования предварительного охлаждения рассчитывается следующим образом.

6.9 Ледогенераторы и чиллеры

Необходимо оценить мощность оборудования для обеспечения системы охлаждения. Как упоминалось ранее, максимальное количество необходимого бетона составляет 3500 (м³/сутки), а, следовательно, суточный объем бетонирования 3500 (м³/сутки) по данным июля по варианту 2 номинальная мощность ледогенератора с понижающим коэффициентом 0,75:

$$3500 \text{ (м}^3\text{/сутки)} \times 40 \text{ (кг)/}1,25 = 175 \text{ 000 (кг/сутки)}/1000 = 175 \text{ (тонн/сутки)}$$

Таким образом, требуется ледогенератор мощностью 175 (тонн/сутки) вместе с другими сопутствующими принадлежностями, чтобы система могла эффективно производить потребное количество чешуйчатого льда в сутки.

Технические характеристики ледогенераторной установки:

№	Наименование	Параметры
1	Производительность установки по производству чешуйчатого льда	175 тн/сутки
2	Температура льда	5 °С
3	Хладагент	Фреон R404A
4	Потребляемая мощность	400 кВт/час
5	Мощность компрессора	3х180 л.с винтового типа
6	Толщина льда	1.8-2.2 мм
7	Бункеры для хранения льда	80 тн

Учитывая, что во втором варианте охлаждения заполнителей осуществляется речной водой температурой 5 °С, необходимое количество воды для охлаждения бетонной смеси может быть рассчитано следующим образом:

Суточный объём бетонирования: 3500 м³/сут;

Отношение В/Ц: 0,9;

Температурные поправки:

- вода для затворения смеси: 126 кг/м³
- вода, поступающая от охлаждённых заполнителей: $1230 \text{ кг/м}^3 \times 0,005$
- вода от цемента и золы: $1007 \text{ кг/м}^3 \times 0,025$
- Коэффициент использования ледогенератора: 0,75

Расчёт массы воды, подлежащей охлаждению:

$$3500 \times (126 \times 0,9 - 40 - (1230 \times 0,005 + 907 \times 0,025)) / 0,75 =$$

$$= 3500 \times 44,575 / 0,75 \approx 208\,016 \text{ кг/сут} \approx 208 \text{ тонн/сут.}$$

Таким образом, ледогенератор производительностью 208 тонн льда в сутки должна эксплуатироваться совместно с сопутствующим оборудованием (чиллер и тп). Это обеспечит эффективную выработку **156 тонн чешуйчатого льда в сутки**, необходимого для охлаждения бетонной смеси в условиях повышенной температуры окружающей среды.

6.10 .Оборудование для производства наполнителей бетона

Учитывая объем бетона плотины, который оценивается в 2,1 млн. м³ укатанного бетона RCC и 450 тыс. м³ обычного вибрированного гидротехнического бетона CVC, расчетное количество заполнителей, необходимых для бетона плотины, составляет около 4,62 млн. тонн, и для вибрированного бетона CVC количество заполнителей около 0,99 млн. тонн.

Требуемые объемы заполнителей в зависимости от места их укладки представлены в Таблице 6.10.1.

Таблица 6.10.1. Объемы бетонных работ по плотине Пскемской ГЭС

Тип бетона	Наименование	Макс. размер заполнит. (мм)	Прочность на одноосное сжатие (МПа)	Объём (тыс. м ³)	Количество крупных и мелких заполнителей (тыс. тн)
B15/50	Укатанный бетон плотины (RCC)	50	15	2100,0	4620,0
B20/25	Гидротехнический бетон (CVC), в.ч: - конструктивный бетон поверхностного водосброса; - конструктивный бетон донного водовыпуска; - бетон водобойного колодца; - бетон напорной и безнапорной грани плотины - плита основания	20	20	480,0	990,0

На объекте разведаны и используются карьеры местных строительных материалов: суглинка, камня, галечника, расположенные в радиусе 2-8 км от створа плотины. Возведение плотины и подготовка инертных материалов для бетонной смеси (вибрированного и укатанного бетона плотины), водосбросных сооружений, здания станции, и т.д. предусматривается с использованием этих карьеров строительных материалов.

Карьер галечника №2

Основной источник разработки крупных и мелких заполнителей для классического гидротехнического бетона – карьер галечника №2. Он расположен на правом берегу р. Пскем в 2-х км ниже створа плотины на абс. отм. 1040,0 - 1050,0 м. Продуктивная толща представлена пролювиальными и аллювиальными галечниками с содержанием до 10% слабобосцементированных конгломератов. По гранулометрическому составу и физико-механическим показателям материал оценивается как пригодный для приготовления бетона.

Галечниково-гравийная фракция плохо- и среднеокатанная, в состав ее входят осадочные породы (известняки, песчаники) - до 5%, пылевато-глинистые частицы - 1%.

Аллювиальные галечники характеризуются следующим грансоставом:

содержание валунов (Ø 120 мм) - 39,5%

гальки (Ø 120-10 мм) - 41,1%

гравия (Ø 10-5 мм) - 6,3%

песка (Ø 5 мм) - 13,1%.

Полученные результаты разведки и испытания грунта показывают, что галечниково-песчаная смесь может быть использована для изготовления бетона.

Подсчет запасов:

Разведанные массы определяются объемами:

пролювиальные галечники – 1 512,3 тыс. м³

аллювиальные галечники – 2 728,9 тыс. м³

материал вскрыши – 658,5 тыс. м³.

Карьер камня №7А

Расположен на левом берегу р. Пскем в верхнем бьефе плотины в пределах абс. отм. 1170-1500 м, удален от створа на 4 км. На верхние отметки карьера проложена автодорога. Транспортные пути на промежуточные отметки разработки карьера отсутствуют и подлежат прокладке по мере отработки карьера и использования карьерного материала. Участок сильно изрезан боковыми саями и промоинами.

Продуктивная толща сложена нижнекарбовыми известняками. Удельная масса известняка 2,74 г/см³. Объемная масса - 2,66 г/см³.

Гранулометрический состав камня характеризуется содержанием фракций:

более 500 мм -22,0%;

500-300 мм -20%;

300-100 мм -28,0%;

и менее 100 мм -29,0%.

Прочностные характеристики следующие: временное сопротивление сжатию в естественном состоянии изменяется от 250 до 1480 кг/см², а в среднем составляет 860 кгс/см²,

что соответствует марке камня “800”, в водонасыщенном состоянии от 132 до 960 и в среднем 403 кгс/см², что соответствует марке “500”.

Подсчет запасов оценивается объемом: полезная толщина - 30 млн. м³.

материал вскрыши - 1,2 млн. м³.

По физико-техническим показателям известняки оцениваются пригодными для использования в качестве крупных и мелких заполнителей для укатанного бетона RCC.

Производительность выпуска бетона зависит от количества складированных заполнителей в подготовительный период, в период бетонирования и общей производительности дробилки (ДСХ).

Согласно расчетному количеству необходимого бетона за 8 месячный период работы в году в течении трех лет, максимальное количество необходимого укатанного бетона RCC составляет 87 500 (м³/месяц), при допущении, что производство (дробление) заполнителей будет производиться одновременно с укладкой бетона, требуемый объем крупного заполнителя будет рассчитываться следующим образом:

$$87\,500 \text{ (м}^3\text{/месяц)} / 25 \text{ (дней в месяц)} = 3\,500 \text{ (м}^3\text{/сутки)}$$

$$3\,500 \text{ (м}^3\text{/сутки)} \times 2,20 \text{ (тонн/м}^3\text{)} = 7\,700 \text{ (тонн/сутки)}$$

Согласно приведённым выше данным, производительность дробильного оборудования должна обеспечивать покрытие общего объёма потребления заполнителей.

Принимая во внимание двухсменный режим работы (2 смены по 8 часов) в течение 25 рабочих дней в месяц, а также заложенный **коэффициент технологического запаса 1,50**, расчётная производственная мощность дробильной установки определяется по следующей формуле:

$$Q_{\text{дроб}} = \frac{Q_{\text{потр}} \cdot K_{\text{запаса}}}{N_{\text{смен}} \cdot t_{\text{смен}} \cdot D_{\text{мес}}}$$

$$7\,700 \times 1,5 / (2 \text{ (смена/сутки)} \times 8 \text{ (час/смена)}) = 722,0 \text{ (тонн/час)}$$

- Q_{дроб} - требуемая часовая производительность дробилки, т/ч
- Q_{потр} - месячная потребность в заполнителях, т/мес;
- K_{запас} - 1,5k коэффициент запаса;
- N_{смен} – 2см - количество смен в сутки;
- T_{смен} – 8ч - продолжительность смены, ч.

Согласно приведенным расчетам, с общей точки зрения, дробилка производительностью 722 тонн в час будет удовлетворять требованиям проекта при отсутствии резервного хранилища для производства щебня.

Расчет производительности дробилки при разных условиях начала дробления (тонн/час.)

Производительность дробилки в разных условиях (тонн/час)					
	Одновременное дробление и бетонирование	3а 2 мес. до начала	3а 4 мес. до начала	3а 6 мес. до начала	3а 8 мес. до начала
Первичное дробление щековая дробилка (тн)	722	545	425	385	325
Вторичное дробление ударная дробилка (тн)	455	345	270	240	205
Вторичное вертикальная ударная дробилка (тн)	94	70	55	50	45
Требуемая площадь для складирования материала (м2)	3780	23850	33200	41500	47930

Важным аспектом, заслуживающим особого внимания, является то, что недостаточный объём производства мелкого заполнителя приводит к совмещению избыточного объёма крупного заполнителя с его плановым объёмом, что искажает результаты расчётов и вносит погрешности в анализ. В связи с этим представленный ниже подход, основанный на **раздельном рассмотрении фракций заполнителей**, позволяет более точно оценить необходимое количество заполнителей по категориям и свести вероятность подобных ошибок к минимуму.

В связи с тем, что окончательный состав (рецептура) укатанного бетона для плотины Пскемской ГЭС еще не доработан, поэтому для необходимых расчетов в качестве критерия выбора оборудования для строительства используется аналог - утвержденный состав смеси проекта Нижне-Чаткальской плотины.

Поэтому соотношение весовых коэффициентов категорий заполнителей будет использоваться для разделения объема потребления и оценки потребностей (см. табл.).

Предварительный состав укатанного и вибрированного бетона для плотины

Конструктивный	Заполнители (кг) по фракциям				Цемент (кг)
	0-2	0-5	5-25	25-50	
Конструктивный бетон плотины		870	1080	-	300
Поверхностный бетон плотины (CVC)		870	1080	-	300
Массовый бетон плотины (RCC)	302	705	615	615	125
Набрызгбетон		1674	-	-	450
Бетон поверхностного водосброса		1000	860	-	340
Бетон водоотбойного бассейна		1000	860	-	340

Учитывая производительность первичного дробления 722 тонн/час и зная, что в первичных дробилках количество производства мелкого заполнителя ограничено 5%, производительность вторичной дробилки, производящей 45% (по весу) мелкого заполнителя, будет следующей:

С учетом 2-х смен по 8 часов в течение 25 рабочих дней и с коэффициентом 0,5 производительность дробилки по мелким заполнителям можно рассчитать следующим образом:

$$0,45 \times 3500 \text{ (м}^3\text{/день)} \times 2,2 = 3465 \text{ (тонн/сутки)}$$

$$3465 \text{ (тонн/сутки)} / (2 \text{ (смена/день)} \times 8 \text{ (час/смена)} \times 0,50) = 435 \text{ (тонн/час)}$$

Согласно приведённым выше расчётам, при раздельном подходе, дробильная установка с производительностью 325 тонн/час будет удовлетворять требованиям проекта при условии отсутствия запаса на производство мелкого заполнителя.

Производительность дробилки¹

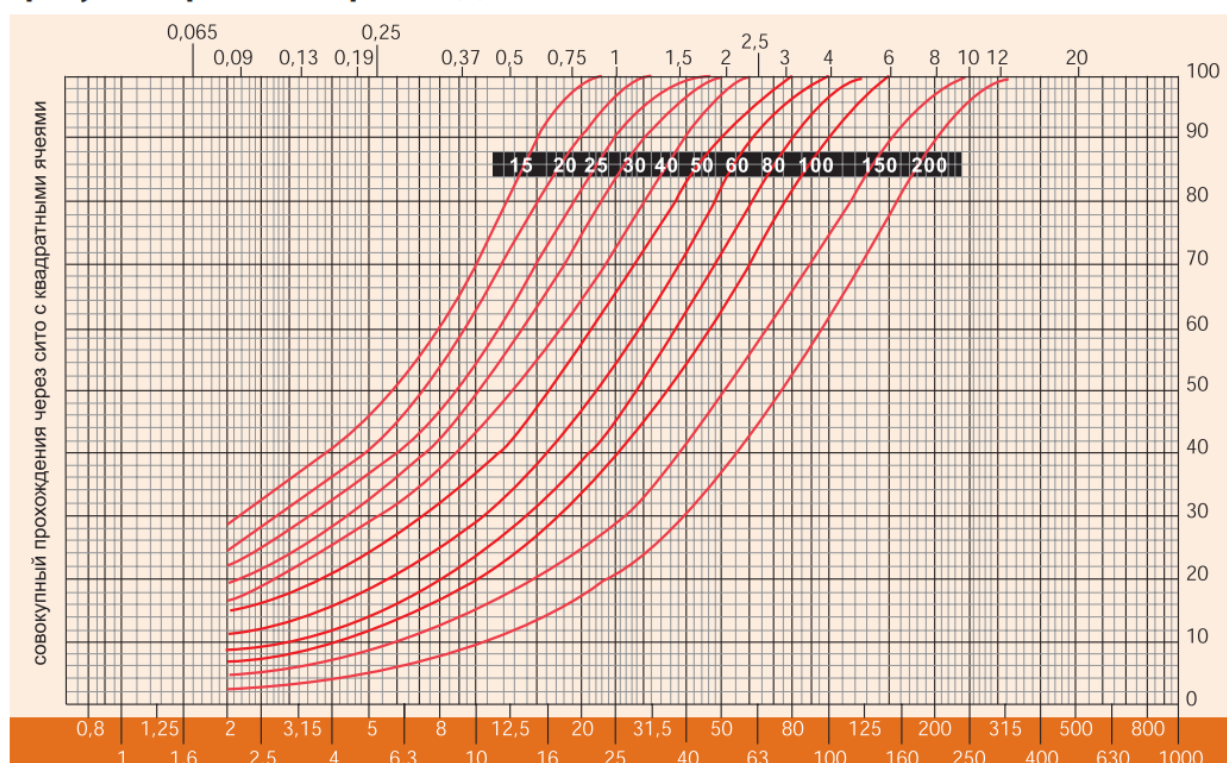
Модель NP	МАКСИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР КУСКА ПИТАНИЯ 400 мм		МАКСИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР КУСКА ПИТАНИЯ 200 мм	
	Конечный продукт 60 мм	Конечный продукт 40 мм	Конечный продукт 40 мм	Конечный продукт 20 мм
NP1007	150 тонн/час	100 тонн/час	150 тонн/час	80 тонн/час
NP1110	200 тонн/час	150 тонн/час	250 тонн/час	150 тонн/час
NP1213	250 тонн/час	200 тонн/час	300 тонн/час	200 тонн/час
NP1315	350 тонн/час	250 тонн/час	350 тонн/час	250 тонн/час
NP1520	500 тонн/час	400 тонн/час	600 тонн/час	350 тонн/час
Модель NP	МАКСИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР КУСКА ПИТАНИЯ 800 мм		МАКСИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР КУСКА ПИТАНИЯ 400 мм	
	Конечный продукт 200 мм	Конечный продукт 100 мм	Конечный продукт 200 мм	Конечный продукт 100 мм
NP1210	350 тонн/час	250 тонн/час	350 тонн/час	250 тонн/час
NP1313	450 тонн/час	300 тонн/час	500 тонн/час	350 тонн/час
NP1415	550 тонн/час	400 тонн/час	600 тонн/час	400 тонн/час
NP1620	900 тонн/час	600 тонн/час	950 тонн/час	650 тонн/час
NP2023	1800 тонн/час	1200 тонн/час	2000 тонн/час	1300 тонн/час

¹ Производительность по только что полученному образцу продукта дробления.

Технические характеристики

	Модель NP	Загрузочное отверстие	Максимальный размер куска питания (по ширине)	Максимальная скорость	Мощность
	NP1007	750 x 800 мм	500 мм	800 об./мин.	90 кВт / 125 л.с.
	NP1110	1020 x 820 мм	600 мм	800 об./мин.	160 кВт / 220 л.с.
	NP1213	1320 x 880 мм	600 мм	700 об./мин.	200 кВт / 250 л.с.
	NP1315	1540 x 930 мм	600 мм	700 об./мин.	250 кВт / 350 л.с.
	NP1520	2040 x 995 мм	700 мм	600 об./мин.	400 кВт / 600 л.с.
	NP1210	1020 x 1080 мм	800 мм	700 об./мин.	160 кВт / 220 л.с.
	NP1313	1320 x 1200 мм	900 мм	700 об./мин.	200 кВт / 250 л.с.
	NP1415	1540 x 1320 мм	1000 мм	600 об./мин.	250 кВт / 350 л.с.
	NP1620	2040 x 1630 мм	1300 мм	500 об./мин.	400 кВт / 600 л.с.
	NP2023	2310 x 1920 мм	1500 мм	500 об./мин.	1000 кВт / 1200 л.с.

Гранулометрические кривые (*)



* Приведенные значения гранулометрического состава продукта и производительности дробилки зависят от гранулометрического состава сырья, плотности и дробимости материала.

Начало бетонирования плотины Пскемской ГЭС запланировано с марта 2027 года. Производительность дробильного завода можно уменьшить до 500тн/час, но в этом случае производство щебеночных материалов должно быть начато без учета монтажа и пусконаладочных работ за 7-8 месяцев или до начала бетонирования, исключая зимние месяцы, так как разработка камня в карьере будет затруднительна или даже невозможна.

Ориентировочно начало дробления камня должно быть запущено с начала 2027 года. В этом случае появится необходимость в организации временных складов для дробленого материала.

При работе с заполнителями ключевым требованием является предотвращение их сегрегации, так как она существенно ухудшает однородность бетонной смеси. Технические условия должны содержать положения, регламентирующие порядок обращения с материалом с целью исключения расслоения по крупности. Для обычного бетона заполнители, как правило, разделяются на стандартные фракции с узкими диапазонами размеров, что позволяет эффективно контролировать сегрегацию.

В случае с бетоном типа RCC (укатанным бетоном) заполнители нередко группируются по нетрадиционным, более широким или совмещённым диапазонам крупности, что позволяет использовать естественный гранулометрический состав материала и снизить потребность в сортировке. Для доставки бетонной смеси на карту укатки бетона необходимо параллельно организовать временные съезды. Съезды будут состоять из материала, аналогичного заполнителям RCC.

6.11 Транспортировка бетона

Выбор системы транспортировки бетонной смеси является неотъемлемым элементом проектных решений, поскольку процесс доставки укатываемого бетона (RCC) к месту укладки оказывает существенное влияние на качество формируемой поверхности слоёв. Основными методами транспортировки RCC являются конвейерные линии и автомобильные средства доставки. Использование ковшовых подъёмников или аналогичных систем снижает темп бетонирования и увеличивает риск сегрегации материала.

В целом, наиболее эффективным способом обеспечения качественной укладки RCC является применение непрерывных ленточных конвейеров, а также комбинированных схем, совмещающих конвейерный и автотранспортный методы, что успешно применялось на ряде реализованных проектов.

На объекте строительства Пскемской плотины предусмотрено размещение двух бетонных заводов производительностью по 150 м³/час каждый, а также ледогенератор и чиллер общей мощностью 208 тонн в сутки, что обеспечит с учетом потерь необходимые 156 тонн в сутки. Оборудование планируется разместить на участке, расположенном в 100 метрах ниже по течению от створа плотины.

Приготовленный RCC и обычный бетон непосредственно с бетонных заводов подаются к месту укладки непрерывными высокоскоростными ленточными конвейерами, что обеспечивает стабильное качество и высокую производительность укладки бетонной смеси.



Рисунок 6.11.1. Конвейерная лента для транспортировки бетона RCC в тело бетонно-грационной плотины Нижнечаткальской ГЭС

Транспортировка бетона (RCC) от разгрузочной точки конвейера до зоны размещения на карте бетонирования осуществляется автосамосвалами. Для равномерного распределения смеси по укладываемой поверхности используется бульдозер типа D4. Уплотнение RCC производится с применением однобарабанных вибрационных катков массой 8-10 тонн, обеспечивающих необходимую плотность слоя.

На участках с ограниченным пространством или в зонах, прилегающих к опалубке, где движение крупной техники затруднено, уплотнение следует выполнять двухвальцовыми катками малой массы (2,7 тонны), специально предназначенными для работы в стеснённых условиях.

Все оборудование, которое будет использоваться в ходе бетонирования зон плотины, необходимо проверить и устранить любые неисправности. В период транспортировки бетона с помощью самосвалов, вблизи съездов необходимо предусмотреть мойку шин (воздушная струя/гидроструйная очистка) для очистки гусениц и колес оборудования, которое работает поверх слоев укатанного бетона.

Укладка укатанного бетона RCC будет осуществляться в следующей последовательности:

- подготовка основания, как описано выше.
- расчистка поверхности с помощью системы воздушной/водяной струи.
- укладка подстилающего слоя 1 см с помощью автобетоносмесителя и распределение механически гребенкой трактором или вручную (для холодных швов).
- транспортировка и укладка RCC автосамосвалами.

- распределение RCC на полную толщину с помощью бульдозера. Правильность толщины слоя будет гарантирована соответствующей съемкой и отметками на боковых гранях.

Перед началом работ по распределению необходимо измерить температуру укатанного бетона RCC. Работы по распределению начинаются в течение 10 минут после укладки укатанного бетона. Особое внимание следует уделить тому, чтобы толщина распределяемого слоя не была меньше окончательной толщины распределения ~36 см (бетона в рыхлом состоянии) для окончательного уплотненного слоя 30 см +/- 5 м.

После распределения бетонной смеси необходимо измерить температуру укладки и отобрать несколько образцов для проведения испытаний на время уплотнения аппаратом ВеБе (VEBE), определения удельного веса и содержания воздуха.

После завершения работ по распределению бетона бульдозером Д4 (8-10тн) необходимо незамедлительно провести работы по его уплотнению для достижения окончательной толщины 30 см после уплотнения, начиная с прискальной стороны. Каток начинает работу с одного статического прохода, затем следует минимум 6-7 проходов в вибрационном режиме. Точное количество проходов будет определено по результатам предварительных испытаний на уплотнение на строительном полигоне.

Второй этап уплотнения включает также границы вибрированного гидротехнического бетона SVC и укатанного бетона RCC, каток везде выполняет 1 статический проход. Вальцы не должны находиться в режиме вибрации, когда стоят на месте, а режим вибрации должен включаться только при движении катка. После уплотнения измеряется плотность укатанного бетона RCC с помощью ядерного плотномера не менее 4-5 замеров на каждый слой при площади бетонирования менее 1000 м², плотность укатанного бетона должна быть не менее 2450 кг/м³. При показаниях плотности ниже требуемой – необходимо провести укатку до достижения требуемой плотности.

Зона бетонирования вибрированным бетоном SVC шириной 1,0 м располагается с напорной верхней и нижней грани плотины, а также шириной 2,0 м в зоне бортового приямка плотины к скальному основанию. Рецептура вибрированного бетона SVC должна быть предварительно подобрана строительной лабораторией и согласована генеральным проектировщиком и Заказчиком. Уплотнение зоны бетонирования вибрированным бетоном SVC производится переносным вибратором. Контакт вибрированного бетона SVC и укатанного бетона RCC должен уплотняться с помощью небольшого виброкатка или ручной вибротрамбовки. При перекрытии каждого уложенного слоя из укатанного бетона RCC следующим (согласно результатам лабораторных исследований о начале и конце схватывания) в течении первых 5-6 часов, может производиться без штрабления и нанесения цементного раствора на поверхность.

При перекрытии каждого уложенного слоя из укатанного бетона RCC следующим в течении первых 7-15 часов, должно производиться с предварительной очисткой, продувкой и нанесением цементного раствора на поверхность.

При перекрытии каждого уложенного слоя из укатанного бетона RCC следующим через 15 часов и более, должно производиться с предварительной очисткой, продувкой, штраблением (насечкой) и нанесением цементного раствора на поверхность.

При плановом завершении слоя бетонирования, необходимо в течении первых 5 часов поверхность слоя бетона очистить, промыть и продуть для подготовки к последующему бетонированию.

Устройство деформационных швов

Для контроля трещин на верховой грани плотины предусмотрены вертикальные поперечные усадочные швы с установкой гидрошпонок из ПВХ.

Самая распространенная и эффективная процедура устройства деформационного шва заключается во вдавливании в поверхность RCC вибрационного лезвия, установленного на экскаваторе обратной лопате чтобы сформировать прорезь, простирающуюся от верхней до нижней грани плотины.

Далее в прорезь вставляется полиэтиленовый материал ПВХ-пленка и с помощью вибрационного лезвия экскаватора погружается в прорезь. После этого поверхность бетона RCC уплотняется. Как правило, этот метод эффективен только при использовании гусеничного укладчика, и даже в этом случае требует большой осторожности со стороны рабочих для правильной установки.

Установка гидрошпонок и дренажных труб производится в зоне бетонирования вибрированным бетоном. Обычно это делается в сочетании с укладкой бетона CVC в верхней грани плотины. Для формирования дренажного отверстия, расположенного за двумя рядами гидрошпонок используется труба из ПВХ диаметром 200 мм. Для установки гидрошпонки в проектное положение используется армокаркас.

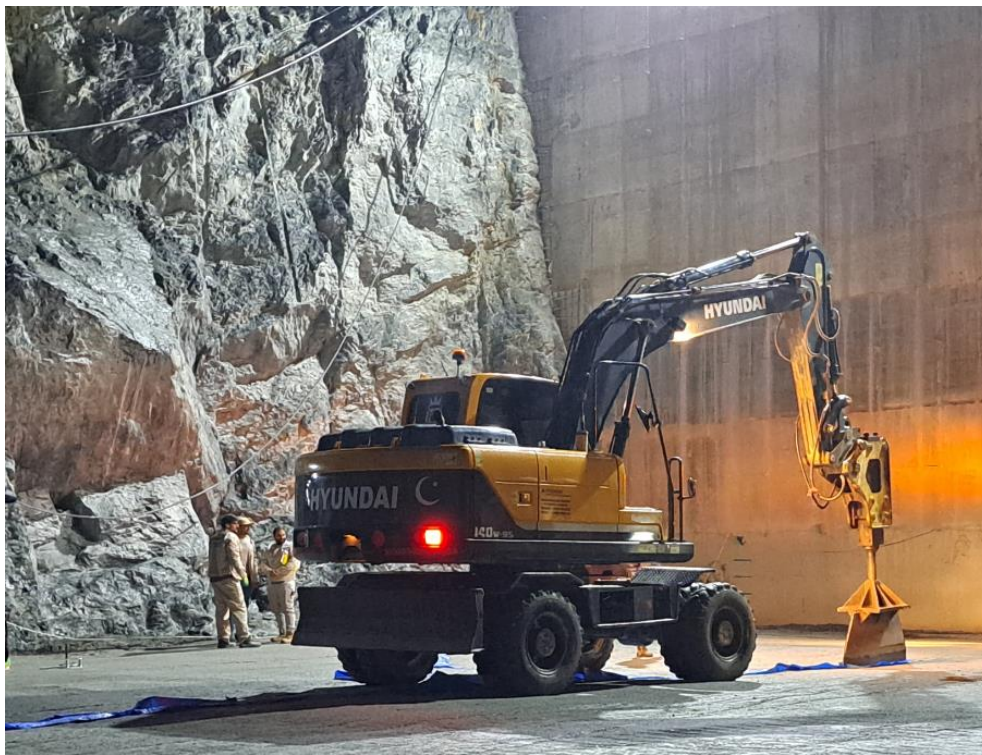


Рисунок 6.11.2. Формирование поперечных швов путем вставки стальных пластин с помощью вибрационного устройства, установленного на экскаваторе типа обратная лопата (плотина Нижне-Чаткальской ГЭС)



**Таблица 6.11. Основное и вспомогательное оборудование для строительства
Пскемской плотины**

№	Тип оборудования	Мощность	Параметр	Кол-во
1	Бетонный завод	150 м ³ /час	Двойной вал	2
2	Льдогенератор с бункером	156 тон/день	Изготовитель чешуйчатого льда	1
3	Чиллер	165 тон/день	Диапазон температур 5~35 c°	1
4	Дробильный завод	722тонн/час (500 тонн/час)	Щековая дробилка, ударная дробилка и мельница для песка	1
5	Ленточный конвейер для транспортировки бетона	150 м ³ /час	Конвейерная лента + Свингер (скорость 3~10 м/с)	1

**Таблица 6.12. Перечень строительной техники для укладки (укатки)
 бетона Пскемской плотины**

№	Тип строительной техники	Мощность	Параметр	Кол-во
1	Распределяющее оборудование	Бульдозер типа D4	-	4
2	Уплотняющее оборудование	Однобарабанный вибрационный каток	10 тонн	5
3	Уплотняющее оборудование	Маленький двойной	2.7 тонн	5
4	Самосвал	-	25~30тонн	10
5	Башенный кран	2~3 тонн	LIBHER 280ECH 12	2
6	Компрессор	-	15 бар	4
7	Ручной вибратор	-	2"-3"-4"	12
8	Вибрационный каток	25 hp	-	3
9	Атомный плотномер	-	-	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ВЕДОМОСТЬ ОБЪЁМОВ РАБОТ

1.Ведомость объемов работ. Плотина. Строительная часть				
№	Наименование	Ед.изм.	Кол.	Примечание
	<u>Устройство и крепление котлована</u>			
	<u>Левый берег</u>			
1	Выемка скального грунта (неоген)	тыс.м ³	1540	
2	Выемка нескального грунта (четвертичные отложения)	тыс.м ³	280	
3	Торкрет-бетон t=10см по сетке (50x50см D8мм)	тыс.м ²	100	
4	Анкер D25/D28мм, длиной до 12м	тыс.м	132	
	<u>Правый берег</u>			
5	Выемка скального грунта (неоген)	тыс.м ³	320	
6	Выемка нескального грунта (четвертичные отложения)	тыс.м ³	170	
7	Торкрет-бетон t=10см по сетке (50x50см D8мм)	тыс.м ²	25	
8	Анкер D25/D28мм, длиной до 12м	тыс. м	33	
	<u>Бетонные работы</u>			
9	Укатанный бетон плотины (RCC), кл.12.5	тыс.м ³	2100	
10	Монолитный бетон плотины, кл. B25	тыс.м ³	450	
11	Арматура кл. АIII (A400)	тн	4000	
12	Опалубливаемая поверхность	тыс.м ²	128.0	
13	Обратная засыпка	тыс.м ³	45	
	<u>Прочие работы</u>			
14	Монтаж гидрошпонки Waterstop	м	7900	
15	Площадь деформационных швов	тыс.м ²	128.0	

2. Ведомость объемов работ. Плотина. Подходные галереи. ПОРТАЛ				
№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во на 4 портала	Примечание
	<u>Входной портал</u>			
	I. Земляные работы			
1	Разработка пород в грунтах IV гр. по ШНК	м ³	400	
2	Подземная выломка в грунтах V гр. по ШНК	м ³	300	
	II. Бетонные работы		0	
3	Открытый железобетон B20	м ³	260	
4	Подземный железобетон B20	м ³	80	
5	Арматура	кг	8460	
6	Бетон чернового лотка	м ³	9.6	
7	Арматура D20AIII, шаг 20x20см	кг	420	
8	Арматура D16AIII, шаг 20x20см	кг	268	
9	Арматурная сетка горизонтальная D20AIII, шаг 20x20см	кг	952	
10	Арматурная сетка вертикальная D12AIII, шаг 20x20см	кг	468	
11	Арматурная сетка торцевая опалубка, в т.ч:		0	
	Арматура вертикальная D12AIII, шаг 15см	кг	472	
	Арматура горизонтальная D20AIII, шаг 20см	кг	1044	
12	Бязь в 2 слоя (свод и контактная)	м ²	320	
13	Арки из двутавра №20	кг	5604	
14	Опалубливаемая поверхность, в т.ч:		0	
	вертикальная	м ²	252	
	наклонная	м ²	76	
15	Песчано-гравийная засыпка	м ³	24	
16	Труба водоотводная 60мм, t=2.5мм, L=1.2 (2шт)	шт/кг	34.08	

3.Ведомость объемов работ. Плотина. ПОДХОДНЫЕ

№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Примечание
	Длина галереи	м	600.0	
1	Разработка пород в грунтах VI гр. по ШНК	м ³	15 360.0	
2	Монтаж металлических арок из I №20	кг	163 200.0	
3	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.85м, в грунтах VI гр (кровля)	кг	1 932.0	
4	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.85м, в грунтах VI гр (стены)	кг	1 932.0	
5	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.6м, в грунтах VI гр (кровля)	кг	2 376.0	
6	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.6м, в грунтах VI гр (стены)	кг	2 034.0	
7	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.85м, в грунтах VI гр (стены)	кг	5 088.0	
8	Монтаж каркасов арматурных: - Ø20 А-III	кг	98 544.0	
9	Установка стальных сеток: Сетка тканая N2-1	м ²	3 990.0	
10	Монтаж каркасов арматурных: - Ø20 А-III	кг	21 600.0	
11	Установка стальных сеток: Сетка тканая N2-1	м ²	876.0	
12	Обетонирование арок: бетон В20	м ³	2 190.0	
13	установка мет. трубки D=114мм, t=3.5мм, L=0.5м в скважинах в своде облицовки	кг	1 458.0	
14	Заполнительная цементация за арочно-бетонную крепь: первичное нагнетание цементнопесчаным раствором состава Ц:П:В=1:1.5:0.6 <i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i> <i>песок</i> <i>вода</i>	м ²	4 836.0	
		кг	251 460.0	
		кг	377 160.0	
		м ³	158.4	
15	Заполнительная цементация за арочно-бетонную крепь: контрольное нагнетание цементным раствором В/Ц=2 <i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i> <i>вода</i>	м ²	4 836.0	
		кг	172 980.0	
		м ³	348.0	

16	Укладка бетона В15, "чернового" лотка t=15см	м³	504.0	
17	Вывоз породы автосамосвалами г/п до 25т, на расстояние до 2.0км	м³	19 968.0	
18	Ремонт и содержание дорог, группа грун- тов 4	м³	19 968.0	
19	Работа на отвале, группа грунтов 4	м³	19 968.0	
20	Эксплуатация буровой тележки со станком НКР-100	маш/ч	1 320.0	
21	Работа погрузчика	маш/ч	2 100.0	
22	Работа спецгидроподъемника	маш/ч	2 100.0	
23	Монтаж/демонтаж лесов при проходке (бурение/зарядка забоя)	м²	3 468.0	
24	Опалубливаемая поверхность	м²	3 786.0	
25	Опалубка из досок В=0.2м, t=0,02м., L=6м. (оборачиваемость 5 раз) (канавы, пешеход- ная тропа)	м²	210.0	
26	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, l=0.4м для крепления опалубки	кг	300.0	
27	Бетон из В15 для пешеходной тропы, В=1,0м, h=0,15м	м³	90.0	
28	Распорка из стальной трубы ф159мм, t=3,5мм, L=4.5м	кг	881.9	
29	Бетонная обделка – бетон лотковой части кл. (В20)	м³	1 585.3	
30	Опалубливаемая торцевая поверхность, каждые 3,0 м	м²	900.0	
31	Арматура Ø16 (с учетом 3% отходов)	кг	64 844.1	
32	Арматура Ø20 (с учетом 3% отходов)	кг	107 655.7	

4. Ведомость объемов работ. Плотина. ЦЕМГАЛЕРЕИ

№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Примечание
	Длина галереи	м	730.00	
1	Разработка пород в грунтах VI гр. по ШНК	м³	18 688.00	
2	Монтаж металлических арок из I №20	кг	198 560.00	
3	Установка стальных анкеров Ø20, А- III, L=0.85м, в грунтах 8гр (кровля)	кг	97 257.90	

4	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.85м, в грунтах 8гр (стены)	кг	2 350.60	
5	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.6м, в грунтах 8гр (кровля)	кг	2 890.80	
6	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.6м, в грунтах 8гр (стены)	кг	2 474.70	
7	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, L=0.85м, в грунтах 8гр (стены)	кг	6 190.40	
8	Монтаж каркасов арматурных: - Ø20 А-III	кг	119 895.20	
9	Установка стальных сеток: Сетка тканая N2-1	м ²	4 854.50	
10	Монтаж каркасов арматурных: - Ø20 А-III	кг	26 280.00	
11	Установка стальных сеток: Сетка тканая N2-1	м ²	1 065.80	
12	Обетонирование арок: бетон В20	м ³	2 664.50	
13	Установка мет. трубы D=114мм, t=3.5мм, L=0.5м (шаг 6.0м)	кг	1 744.70	
14	Заполнительная цементация за арочно-бетонную крепь: первичное нагнетание цементнопесчаным раствором состава Ц:П:В=1:1.5:0.6	м ²	5 883.80	
	<i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i>	кг	305 943.00	
	<i>песок</i>	кг	458 878.00	
	<i>вода</i>	м ³	192.72	
15	Заполнительная цементация за арочно-бетонную крепь: контрольное нагнетание цементным раствором В/Ц=2	м ²	5 883.80	
	<i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i>	кг	210 459.00	
	<i>вода</i>	м ³	423.40	
16	Укладка бетона В15, "чернового" лотка t=15см	м ³	613.20	
17	Вывоз породы автосамосвалами г/п до 25т, на расстояние до 2.0км	м ³	18 688.00	
18	Ремонт и содержание дорог, группа грунтов 4	м ³	18 688.00	
19	Работа на отвале, группа грунтов 4	м ³	18 688.00	
20	Эксплуатация буровой тележки со станком НКР-100	маш/ч	1 606.00	
21	Работа погрузчика	маш/ч	2 555.00	

22	Работа спецгидроподъемника	маш/ч	2 555.00	
23	Монтаж/демонтаж лесов при проходке (бурение/зарядка забоя)	м ²	4 219.40	
24	Опалубливаемая поверхность	м ²	4 606.30	
25	Опалубка из досок В=0.2м, т=0,02м, L=6м. (оборачиваемость 5 раз) (канавы, пешеходная тропа)	м ²	255.50	
26	Установка стальных анкеров Ø20, А-III, l=0.4м для крепления опалубки	кг	365.00	
27	Бетон из В15 для пешеходной тропы, В=1,0м, h=0,15м	м ³	109.50	
28	Распорка из стальной трубы ф159мм, т=3,5мм, L=4.5м	кг	1 424.60	
29	Постоянная бетонная обделка (В20), в т.ч:	м ³	5 256.00	
-	Бетон плиты	м ³	1 788.50	
-	Бетон стен	м ³	1 941.80	
-	Бетон свода	м ³	1 525.70	
30	Опалубочная торцевая поверхность, каждые 3,0 м	м ²	1 766.57	
31	Арматура Ø16 (с учетом 3% отходов)	кг	215 735.87	
32	Арматура Ø20 (с учетом 3% отходов)	кг	114 493.78	
	<u>Заполнительная цементация за постоянную обделку</u>		0.00	
33	Перфораторное бурение шпуров D=42мм глубинное до 0.7 м в гр. VII гр (бетон)	м	652.03	
34	Первичное нагнетание раствора за монолитную бетонную обделку туннеля D=6.0 м	м ²	2 914.96	
	<i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i>	тн	76.82	
	<i>песок</i>	тн	115.12	
	<i>вода</i>	м ³	46.14	
35	Контрольное нагнетание за обделку туннеля D=6.0 м	м ²	2 914.96	
	<i>цемент, (портландцемент М-400 общестроительный)</i>	тн	104.38	
	<i>вода</i>	м ³	32.05	
36	Ликвидация шпуров D=42 м, цемрас-твор М 400	м ³	6.25	

5.Ведомость объемов работ. Плотина. УКРЕПИТЕЛЬНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ

№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Примечание
1	Ударно-вращательное бурение скважин D105мм, глубиной бурения до 10 м, в стесненных подземных условиях (бет обделка 0,7м VII гр.)	м	3 150	
2	Ударно-вращательное бурение скважин D105мм, глубиной бурения до 10 м, в грунтах VI группы (скала)	м	41 850	
3	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 200кг	м	16 740	
4	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 400кг	м	10 463	
5	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 800кг	м	8 370	
6	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 1200кг	м	4 185	
7	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 2000кг	м	2 093	

6.Ведомость объемов работ. Плотина. ДРЕНАЖНАЯ ЗАВЕСА

№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Примечание
1	Колонковое бурение скважин D76мм, глубиной бурения Н=0,7м, в стесненных подземных условиях (бетонная обделка VII группа)	м	700	
	Вода	м ³	1 505	
3	Колонковое бурение скважин D76мм, в грунтах VI группы (скала), глубина бурения до 50м	м	39 300	
	Вода	м ³	84 495	

7.Ведомость объемов работ. Плотина. ГЛУБОКАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ				
№	Наименование	Ед.изм.	Кол-во	Примечание
1	Колонковое бурение скважин D76мм, глубиной бурения Н=0,7м, в стесненных подземных условиях (бетонная обделка VII группа)	м	977	
2	Вода	м ³	2 099	
3	Колонковое бурение скважин D76мм, в грунтах VIII группы (скала), глубина бурения до 50м	м	68774	
	Вода	м ³	147 863	
4	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 200кг	м	27 509	
5	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 400кг	м	17 193	
6	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 800кг	м	13 755	
7	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 1200кг	м	6 877	
8	Цементация грунтов нисходящим способом при поглощении цемента и песка до 2000кг	м	3 439	
9	Колонковое бурение первоочередных разведочных скважин с отбором керна глубиной бурения Н=0,7м, в стесненных подземных условиях (бетонная обделка VII гр.)	м	32	
	Вода	м ³	68	
10	Колонковое бурение первоочередных разведочных скважин с отбором керна D76мм, в грунтах VI группы (скала), глубина до 100м	м	2219	
	Вода	м ³	4 770	
11	Колонковое бурение контрольных наклонных (до 45 градусов) скважин с отбором керна D76мм, глубина бурения до 100м, Н=60,0м в грунтах VI группы (10% от общего объема бурения скважин цементации)	м	7200	
	Вода	м ³	15 480	
12	Ликвидация скважин D76мм, цем.раствором В/Ц 0.5	м	72000	

8.Ведомость объемов работ. Плотина. Гидромеханическое оборудование				
№	Наименование	Ед.изм.	Кол.	Примечание
<u>Гидромеханическое оборудование донного водовыпуска в теле плотины</u>				
1	Ремонтный затвор с фиксированными колесами на входном оголовке донного водовыпуска, в т.ч:	тн	97	
	Обшивка затвора, перепускной клапан (байпас), колеса, уплотнения			
	Закладные части затвора и камера			
	Рельсы, закладные детали и захваты			
	Аэрационные трубы t=6 мм			
	Датчик уровня воды для определения заполнения туннеля			
	Механический указатель положения и концевые выключатели			
	Запасные части и специальные инструменты			
2	Лебедка с канатным подъемом для ремонтного затвора с фиксированными колесами донного водовыпуска, в т.ч:	1 компл.		
	Лебёдка с канатным подъёмом, в комплекте с индикатором положения и принадлежностями	1 компл.		
	Электрическая и контрольная панель, в комплекте с концевыми выключателями и кабелями	1 компл.		
	Запасные части и специальные инструменты	1 компл.		
3	Стальная облицовка водовыпуска	тн	515	
	Стальная облицовка (согласно чертежам)			
	Опоры и встраиваемые детали			
4	Аварийный затвор	тн	37	
	Конструкция затвора (обшивка затвора, уплотнения, направляющие)	1 компл.		
	Камера затвора (камера, крышка)	1 компл.		
	Перепускная труба (байпас) и клапаны (два клапана) с комплектующими	1 компл.		
	Воздуховод и задвижки между аварийным и рабочим затворами с трубами, фланцами и прочим	партия		
	Запасные части и специальные инструменты	партия		
5	Рабочий затвор	тн	34	

	Конструкция затвора (обшивка затвора, уплотнители, направляющие)	1 компл.		
	Камера затвора (камера, крышка)	1 компл.		
	Запасные части и специальные инструменты	партия		
6	Система управления			
	Гидравлический сервомотор (для рабочего затвора)	1 компл.		
	Механический датчик положения и концевые выключатели	1 компл.		
	Гидравлический сервомотор (для аварийных затворов)	1 компл.		
	Механический датчик положения и концевые выключатели	1 компл.		
	Гидравлический блок в комплекте с электронасосами, клапанами, масляным баком, масляным фильтром, регулирующими клапанами, аварийным ручным насосом, местными индикаторами и выключателями давления, уровня и температуры, системой трубопроводов и т.д.	1 компл.		
	Дифференциальное реле давления	1 компл.		
	Локальная панель управления в комплекте со всеми необходимыми индикаторами, кнопками, реле и т.д. (согласно техническому заданию)	1 компл.		
	Запасные части и специальные инструменты	партия		
7	Мостовой кран г/п 20тн			
	Конструкция крана содержит: мост, тележку, тележку и бамперы и т. д.	1 компл.		
	Главный подъемный механизм	1 компл.		
	Рельс крана и встроенные детали	1 компл.		
	Оборудование управления краном содержит: подвесное управление, главный автоматический выключатель, двигатель и пускатель двигателя, контроллер, резисторы, электромагнитные тормоза, концевые выключатели и т. д.	1 компл.		
	Запасные части и специальные инструменты	партия		

9.Ведомость объемов работ. Водобойный колодец и отводящий канал. Строительная часть				
№№	Наименование	Ед.изм.	Кол.	Примечание
	<u>Устройство и крепление котлована</u>			
1	Выемка скального грунта (неоген)	тыс.м ³	963	
2	Выемка нескального грунта (четвертичные отложения)	тыс.м ³	134	
3	Отработка откосов методом контурного взрывания	тыс.м ³	38	
3	Торкрет-бетон t=10см по сетке (50x50см D8мм)	тыс.м ²	38	
4	Анкер D25мм, длиной до 12м	тыс. м	50	
	<u>Бетонные работы</u>			
5	Монолитный бетон плотины, кл. В25	тыс.м ³	30	
6	Арматура кл. АIII (A400)	тн	1200	
7	Опалубливаемая поверхность	тыс.м ²	31,0	
8	Обратная засыпка	тыс.м ³	6,3	

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ СПЕЦИФИКАЦИЯ

1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящие Технические условия охватывают технические требования и пределы поставки гидромеханического оборудования и принадлежностей для установки на объекте строительства «Бетонная плотина Пскемской ГЭС на р.Пскем».

Поставка должна включать в себя проектирование, изготовление, цеховые испытания и покраску, доставку на объект, монтаж, испытания на объекте, пусконаладочные работы, приемочные испытания и ввод в эксплуатацию всего оборудования, описанного ниже.

Поставка должна соответствовать Общим техническим условиям и Чертежам, если не указано иное.

Описание элементов поставки в следующих пунктах не ограничивает ответственность Подрядчика за выполнение всех работ и поставку всех принадлежностей в пределах контрактных лимитов для того, чтобы оборудование было завершено и готово к эксплуатации.

2. ОБЪЕКТ И ГРАНИЦЫ ПОСТАВКИ

Поставка включает проектирование, расчеты, изготовление, покраску и заводские испытания, доставку на объект, монтаж на месте и тестирование следующего оборудования:

Донный водовыпуск в теле плотины:

- а) Одна (1) комплектная затворная система с фиксированными колесами в качестве ремонтного затвора донного водовыпуска, включающая стальные конструкционные секции с уплотнениями, электромеханический подъемник (лебедка), электрические и управляющие системы, байпасную систему, подъемные и фиксирующие приспособления, все встроенные части, включая подшипники, пути уплотнений, рельсы и закладные части, как подробно описано в Главе 3;
- б) Два (2) комплекта сдвижных затворов донного водовыпуска, включающих два высоконапорных, закрытых, направляемых, вертикальных сдвижных затвора с затворным полотном, кожухами затворов, байпасными системами, гидравлическими подъемниками, электрическими и управляющими системами, фитингами и соединениями, необходимыми для работы затворов.
- с) Один (1) комплект стальной облицовки и принадлежностей для донного водовыпуска, включая растрыбы, короба и уменьшение коробов, как подробно описано в Главе 8;
- д) Один (1) комплект козлового крана для камеры затворов донного водовыпуска, включающий основной подъемник, электрические и управляющие системы, устройства безопасности, освещение, фитинги и соединения.

Поставка должна быть полной, включая все закладные части, которые должны быть встроены в бетон первой и второй стадии, такие как анкерные болты, опорные плиты, трубы и т.д.

Участник тендера должен четко указать в иллюстративных чертежах, приложенных к его предложению:

Количество частей, на которые будут разделены фиксированные и подвижные элементы оборудования.

Тип соединений: фланцевые или сварные.

Количество частей, на которые будет разделено оборудование, должно быть ограничено минимально допустимым с учетом транспортных ограничений.

3. РЕМОНТНЫЙ ЗАТВОР ДОННОГО ВОДОВЫПУСКА

3.1. Общие положения

Эта глава охватывает специальную техническую спецификацию для:

Поставки одного (1) комплекта затвора с фиксированными колесами в качестве ремонтного затвора донного водовыпуска, включающего стальные конструкционные секции, полностью укомплектованные уплотнениями, электромеханическим подъемником (лебедкой), электрическими и управляющими системами, байпасной системой, подъемными и фиксирующими приспособлениями, всеми закладными частями, включая подшипники, пути уплотнений, рельсы и закладные части.

3.2. Проектные данные

Нижний водосброс	Ремонтный затвор водозабора
Тип	Затвор с фиксированными колесами
Количество	Один комплект
Количество панелей	Две
Размеры проема	4,00 x 5,00 м (ширина x высота)
Высота порога	1035,50 м над уровнем моря
Высота операционной платформы	1100,00 м над уровнем моря
Нормальная высота	1096,00 м над уровнем моря
Максимальная высота (наводнение с периодичностью 10 000 лет)	1100,00 м над уровнем моря
Система управления	Электрический тросовый подъемник
Условия эксплуатации	Без потока
Выравнивание давления	Встроенный байпас
Угол наклона	Примерно 72,0°
Припуск на коррозию	2 мм
Допустимые напряжения	Согласно стандарту DIN 19704

3.3. Критерии проектирования

Ремонтный затвор водозабора должен быть типа с фиксированными колесами и будет использоваться для обслуживания оборудования ниже по течению, такого как стальные облицовки и затворы.

Затвор должен работать только при сбалансированном давлении и находиться в полностью открытом или полностью закрытом положении. Сбалансированное давление достигается с помощью байпасного клапана в полотне затвора. Байпасный клапан должен приводиться в действие первым движением подъемника.

Затвор будет работать на рельсах с углом наклона 72 градуса от гребня дамбы на

высоте 1100,00 м над уровнем моря.

Затвор и его корпус должны быть рассчитаны на выдерживание максимального статического давления. В расчетах затвора необходимо учитывать воздействие сейсмических сил совместно с нормальным статическим давлением. Случаи нагрузки для затворов определяются следующим образом:

- Случай NB: согласно нормальному уровню воды;
- Случай BB: согласно максимальному уровню воды (наводнение с периодичностью 10 000 лет);
- Случай AL: к случаю NB добавляется динамический напор (формула Зангара согласно TS GP).

Силы закрытия должны превышать силы сопротивления с коэффициентом безопасности 1,5.

3.4. Конструктивные узлы

3.4.1. Полотно затвора

Затвор должен быть изготовлен из сварных стальных секций, состоящих из горизонтальных балок и вертикальных ребер жесткости, которые поддерживают сплошную водонепроницаемую поверхность (обшивку). Обшивка должна располагаться с нижней стороны по течению.

Конструкция затвора должна быть рассчитана в соответствии со стандартом DIN 19704. Полученная толщина должна быть увеличена на 2 мм для учета коррозии. Минимальная толщина обшивки не должна быть менее 15 мм, включая 2 мм на коррозию.

Максимально допустимый прогиб главных балок не должен превышать 1/800 максимального расстояния между опорами. Стыковые сварные швы должны быть рассчитаны на эффективность сварки 0,9.

Подъемные элементы, их соединения с затвором и соединения между сегментами должны быть рассчитаны с учетом ударного коэффициента 2. В этом случае допустимые напряжения равны разрешенным напряжениям при нормальной нагрузке.

3.4.2. Колеса затвора

Для каждой панели должно использоваться четыре колеса. Колеса должны быть изготовлены из нержавеющей стали (например, St304 или X20Cr13) и двигаться по рельсам из кованой стали (например, 42CrMo4) выше проема. Рельсы в проеме должны быть из нержавеющей стали (например, X20Cr13) с твердостью выше, чем у колес (минимум 30 HB).

Оси колес должны быть изготовлены из нержавеющей стали (например, X20Cr13) и рассчитаны на выдерживание неожиданных или неравномерных нагрузок.

Подшипники колес должны быть роликовыми самоустанавливающимися.

Колеса должны быть закалены термической обработкой, закалкой в масле и отпуском. После термообработки и механической обработки готовые колеса не должны иметь трещин, что проверяется методами магнитных частиц, флуоресцентного или красящего проникновения.

Для регулировки колес концевые опоры осей колес должны быть эксцентричными относительно центральной линии (не менее 3 мм), чтобы после окончательной сборки все колеса равномерно опирались на рельсы.

На поверхности колес должны быть предусмотрены достаточные кромки для ограничения бокового смещения и предотвращения вибраций во время работы.

3.4.3. Уплотнения затвора

Затвор должен быть герметизирован за счет контакта клинового эластомерного уплотнения снизу и нижней кромки с пороговой балкой или верхней плитой нижнего сегмента. Верхние и боковые уплотнения должны быть типа «J» с двойным стержнем.

Нижнее уплотнение должно быть клинового типа. Нижняя кромка обшивки должна быть обработана для обеспечения почти водонепроницаемого контакта с пороговой балкой.

Уплотнения должны быть эффективными, чтобы не допускать утечек, когда затвор установлен в положение. Уплотнения также не должны чрезмерно мешать установке и снятию затвора. Уплотнения должны быть цельными, а все углы — отдельно отлитыми. Там, где необходимы стыки, они должны быть косыми, а не перпендикулярными линии контакта, и находиться на расстоянии не менее 300 мм от угла. Все стыки должны быть горячей вулканизацией или соединены подходящим составом с прочностью на разрыв не менее 80% от прочности материала без стыков.

Все уплотнения должны быть закреплены на затворе болтами из нержавеющей стали для облегчения их замены. Расстояние между болтами не должно превышать 100 мм.

Уплотнения должны быть защищены от возможных повреждений из-за застревания бревен или других объектов между уплотнениями и встроенными частями. Когда затвор находится в положении, сжатие уплотнений должно составлять не менее 3 мм для уплотнений типа «J» и 5 мм для плоских уплотнений.

Отверстия для болтов уплотнений в полотне затвора и прижимных планках должны быть просверлены в мастерской.

После проверки уплотнения должны быть промаркированы в соответствии с элементом затвора, а при подготовке затвора к транспортировке уплотнения должны быть сняты и упакованы отдельно.

Подрядчик не должен наносить резиновый клей на стыки в мастерской, но должен поставить достаточное количество клея в подходящих герметичных контейнерах для нанесения другими лицами во время сборки на месте.

3.4.4. Рельсы и уплотнительные поверхности

Рельсы и уплотнительные поверхности должны быть гладкими, точной формы и без перекосов, деформаций или изгибов. Все поверхности, контактирующие с резиновыми уплотнениями и колесами в проеме (рабочая зона), должны быть облицованы листами из нержавеющей стали (например, X20Cr13).

Все поверхности, контактирующие с колесами выше проема (вне рабочей зоны), должны быть облицованы листами из кованой стали (например, 42CrMo4).

Рельсы должны поставляться в комплекте с анкерными плитами, болтами и другими принадлежностями, включая сварные плиты, которые будут встраиваться в бетон первой

стадии. Шпильки, привариваемые к сварным подушкам во время монтажа, должны поставляться с двойными гайками и шайбами для точной выгонки рельсов.

Сварные плиты должны иметь два просверленных отверстия для крепления к опалубке гвоздями.

3.4.5. Анкерные стержни и плиты

Подрядчик должен поставить все необходимые анкерные стержни и плиты, которые будут встраиваться в бетон первой стадии.

Поставка должна включать все распределительные плиты толщиной не менее 15 мм. Размеры плит должны быть такими, чтобы напряжения в бетоне не превышали 60 кг/см².

3.5. Система управления

3.5.1. Общие положения

Ремонтный затвор водозабора должен управляться электромеханическим тросовым подъемником (лебедкой). Грузоподъемность подъемника должна определяться с коэффициентом безопасности 1,5.

Подъемник должен быть установлен на стальной основе (пьедестале) на высоте 1100,00 м над уровнем моря на гребне дамбы.

Для поддержки троса на пути движения должны быть предусмотрены соответствующие ролики.

Подъемник должен быть рассчитан в соответствии со стандартами СМАА, FEM или другими связанными стандартами, которые приемлемы для консультанта.

Подрядчик должен поставить все встроенные части, анкерные плиты и болты, которые будут установлены в бетон первой и второй стадии.

3.5.2. Проектирование

а) Трос

Трос должен быть изготовлен из оцинкованной или нержавеющей стальной проволоки. Прочность на разрыв проволоки должна соответствовать стандарту DIN 3088 или эквивалентному стандарту, одобренному инженером. Минимальный коэффициент безопасности, основанный на прочности троса на разрыв, должен быть выбран равным 6. Концы троса должны быть залиты в конические втулки.

б) Барабаны троса, шкивы и компенсационные ролики

Барабан должен быть такого размера, чтобы на нем помещался не более одного слоя троса. Длина барабана должна быть такой, чтобы на каждом конце троса оставалось минимум два полных витка, когда затвор находится в самом нижнем положении, и один запасной паз на каждом конце барабана, когда затвор находится в самом верхнем положении. Барабаны должны быть машинно нарезаны, а контур на дне канавок должен быть круглым на угол не менее 120°.

Радиус канавок должен составлять 0,53 диаметра троса. Глубина канавок не должна быть менее 0,35 диаметра троса.

Минимальный шаговый диаметр барабанов, шкивов и блоков должен соответствовать стандарту DIN 19704.

Шкивы и блоки должны быть машинно нарезаны на глубину не менее 1,5 диаметра троса.

с) Редуктор

Редуктор должен иметь жесткую конструкцию с инспекционными крышками и подъемными ручками там, где это необходимо. Редукторы должны быть спроектированы таким образом, чтобы шестерни можно было легко снять или заменить, а также чтобы обеспечивалась надлежащая смазка шестерен.

При необходимости должны быть предусмотрены возможности для заливки и слива масла, подключения индикатора уровня масла и достаточной вентиляции. Коробки должны быть установлены на выровненной поверхности. Материалом для редукторов должна быть литая сталь.

д) Тормоз

Один автоматический пружинный тормоз с электрическим освобождением колодочного типа (или дискового типа для электродвигателей с номинальной мощностью менее 5 кВт) должен быть устроен так, чтобы срабатывать при отключении или сбое питания.

Тормоз должен предотвращать ускорение груза при опускании и удерживать груз в любом желаемом положении, когда двигатели не работают. Тормозная способность в обоих направлениях должна составлять не менее 150% от максимального приводного момента.

е) Двигатель

Двигатель должен быть полностью закрытым, самоохлаждаемым, многофазным индукционным типом, предназначенным для подъемников. Обмотки должны быть пригодны для тропического климата с изоляцией класса F. Номинальные параметры должны соответствовать повышению температуры класса B. Двигатель должен быть рассчитан на непрерывную работу с более чем 20 пусками в час. Двигатели должны быть оснащены антифрикционными подшипниками и закрытыми клеммными коробками. Двигатели с одинаковыми характеристиками должны быть взаимозаменяемыми и установлены таким образом, чтобы их можно было снять, пока груз удерживается тормозом подъемника. Двигатель должен быть оснащен нагревателем против конденсации.

3.6. Электрическое оборудование

Должна быть предусмотрена полная операционная электрическая система для подъемника затвора.

Все электрическое оборудование должно быть приспособлено для работы на открытом воздухе. Все токоведущие элементы должны быть полностью изолированы или защищены для предотвращения случайных контактов.

Электродвигатели и все устройства, требующие питания переменного тока, должны обеспечиваться через локальную панель управления, которая питается от главного распределительного щита, как показано на чертежах.

Панель питания и управления должна соответствовать требованиям, указанным в Общих технических спецификациях.

3.7. Управление

Затвор должен управляться с локальной панели управления с помощью моторного

тросового подъемника. Подъемное оборудование должно быть способно поднимать, опускать и удерживать затвор в любом положении при условиях и эксплуатационных требованиях, указанных в спецификации.

Должна быть предусмотрена одна панель управления для затвора водозабора.

Панель управления должна иметь все сигналы тревоги и индикаторы, перечисленные в Приложении А, а также необходимые контакты для передачи сигналов на щит управления дамбой.

Управление затвором должно осуществляться с помощью кнопок. Панель управления должна быть оснащена следующими элементами управления:

- Один переключатель режимов для положений «выключено», «нормальный» и «обслуживание»;
- Одна кнопка «открытие», одна кнопка «стоп» и одна кнопка «закрытие»;
- Один переключатель для ламп с положениями «включено», «выключено»;

Рядом с подъемником должен быть установлен механический индикатор положения затвора.

Поставка должна включать защиту от провисания троса и автоматические устройства ограничения нагрузки (тензодатчик), которые предотвратят подъем грузов, превышающих заданные максимальные значения.

Ограничитель должен быть регулируемым в диапазоне от 80% до 110% номинальной нагрузки.

3.8. Последовательность управления

Затвор должен работать в условиях сбалансированного давления (без потока) и находиться либо в полностью открытом, либо в полностью закрытом положении. Управление осуществляется с локальной панели управления и включает кнопки моментального контакта «открыть», «закрыть» и «стоп» для управления движением подъемника. Также должны быть предусмотрены концевые выключатели для защиты и управления каждой системой: переподъем, провисание троса, открытие байпасного клапана, закрытие затвора, положение затвора вверху туннеля и положение затвора в парковочном состоянии.

В режиме открытия после открытия байпасного клапана соответствующий концевой выключатель должен остановить двигатель. Когда давление с обеих сторон затвора сбалансировано и туннель заполнен, датчик уровня воды, входящий в поставку, должен дать разрешение на дальнейшее открытие. После очередной команды «открыть» затвор поднимается до верхнего уровня водозабора и останавливается. Для дальнейшего подъема в условиях обслуживания требуется ещё одна команда «открыть».

В последовательности закрытия затвор останавливается на верхнем уровне проема. Для дальнейшего опускания требуется ещё одна команда «закрыть». Эти последовательности показаны в логических диаграммах.

3.9. Фитинги и аксессуары

3.9.1. Байпас

На верхнем сегменте ремонтного затвора водозабора должен быть установлен байпасный клапан для заполнения канала. Байпасные клапаны должны приводиться в действие тросовым подъемником.

Уплотнение должно быть выполнено из контакта бронзы и нержавеющей стали, причем бронзовая сторона находится на затворе, а нержавеющая — на клапане.

Пружина и шток байпасного клапана должны быть изготовлены из нержавеющей стали.

Особое внимание следует уделить конструкции байпаса, чтобы исключить риск того, что байпасный клапан останется открытым, когда затвор полностью опущен.

3.9.2. Воздушные трубы

В каждом водозаборе должны быть установлены три оцинкованные воздушные трубы (диаметром 300 мм) для выпуска воздуха во время заполнения канала. Конец каждой трубы должен быть поднят до операционной платформы.

3.9.3. Опорные ролики

На пути движения затвора должно быть предусмотрено достаточное количество опорных роликов для поддержки троса во время работы.

3.9.4. Фиксирующее устройство и опора

Пара подходящих фиксирующих устройств должна быть спроектирована для удержания затвора в наклонном положении. Фиксирующее устройство должно быть рассчитано с учетом ударного коэффициента 2. В этом случае допустимые напряжения равны разрешенным напряжениям при нормальной нагрузке.

3.10. Допуски

В целом применяются положения раздела 5 Общих технических спецификаций.

Размеры затвора не должны отличаться более чем на $\pm 0,1\%$ от проектных данных.

Возможная ошибка параллельности между нижней и верхней сторонами, а также между боковыми кромками должна полностью компенсироваться деформацией резинового уплотнения.

Уплотняющие поверхности боковых и верхних уплотнений в собранном виде на готовом элементе затвора не должны отклоняться от истинной плоскости более чем на 1 мм.

Все точки на уплотняющей поверхности порога должны находиться между двумя плоскостями, параллельными горизонтальной плоскости на теоретической высоте порога, с допуском ± 1 мм.

Максимально допустимая утечка воды должна быть менее 1,0 л/мин/м.

3.11. Испытания

3.11.1. Заводские испытания

Во время изготовления и установки подрядчик должен провести все рутинные и специальные испытания в соответствии с применимыми стандартами и соответствующими статьями настоящих Общих и Специальных технических спецификаций.

а) Механические испытания

Затворы должны быть собраны на заводе для осмотра и испытаний.

Сборка должна быть проверена или испытана на точность размеров, допуски, работу, ход и соответствие требованиям настоящих спецификаций. Любые обнаруженные ошибки или упущения должны быть исправлены.

Должна быть проверена работа байпасных клапанов.

Тросовые подъемники должны быть собраны на заводе для осмотра и испытаний.

Должны быть проведены полные эксплуатационные испытания и испытания под нагрузкой.

После заводской сборки электромеханические подъемники с нанесенными соответствующими метками должны быть разобраны на основные узлы. Панели управления должны поставляться полностью собранными, за исключением хрупких компонентов, которые потребуют отдельной упаковки.

б) Испытания электрического оборудования

Двигатели и панели в полностью собранном виде должны быть испытаны в соответствии со стандартами. Для электродвигателей должны быть измерены значения крутящего момента и пускового тока.

с) Испытания сварки

Все основные сварные швы должны быть проверены в соответствии с процедурой, указанной в Общих технических спецификациях.

Все основные сварные швы должны быть подвергнуты ультразвуковому контролю.

Не менее 20% сварных швов и 100% Т-образных соединений должны быть проверены рентгенографически в соответствии с процедурами, указанными в

Общих технических спецификациях. В любом случае все стыковые швы плит должны быть 100% проверены ультразвуком.

Испытания методом красящего проникновения на скользящих поверхностях должны проводиться в мастерской.

Сварные швы с перекрестными соединениями не допускаются ни в каких случаях.

3.11.2. Испытания на объекте

Перед проведением каких-либо механических испытаний должен быть проведен тщательный осмотр всех механических и конструктивных соединений. Испытания включают, но не ограничиваются описанными ниже.

Затвор после установки должен быть осмотрен и испытан для проверки зазоров, точности выравнивания и плавности работы.

Все движения полностью собранного затвора должны быть тщательно и полностью проверены на свободу работы, отсутствие внутренних механических помех, правильное выравнивание всех движущихся частей и отсутствие вибраций.

Испытания, которые должны быть выполнены, включают, но не ограничиваются:

- Испытание байпасных клапанов.
- Испытания на утечку воды (максимально допустимая утечка воды должна быть менее 1 л/с/м и не превышать 10,0 л/с).
- Испытания работы тросового подъемника.

3.12. Защитные покрытия

Подготовка поверхности и защитные покрытия должны соответствовать Общим техническим спецификациям.

3.13. Запасные части и специальные инструменты

3.13.1. Запасные части

Все запасные части должны быть взаимозаменяемыми, изготовленными из того же материала и с тем же качеством исполнения, что и соответствующие оригинальные части, и соответствовать тем же требованиям.

Подрядчик должен поставить для каждого затвора следующие запасные части, которые считаются минимальным требованием:

- Один (1) полный комплект уплотнений;
 - Десять процентов (10%) используемых болтов и гаек;
 - Один (1) полный комплект подшипников колес;
 - Один (1) комплект всех индикаторных ламп и предохранителей;
 - Двадцать процентов (20%) контакторов, автоматических выключателей, переключателей и реле каждого типа (минимум один);
 - Два (2) концевых выключателя каждого типа;
 - Один (1) датчик уровня каждого типа;
 - Двадцать процентов (20%) каждого типа электронных плат, минимум одна;
- Подрядчик должен поставить любые другие запасные части, которые он считает необходимыми для пяти лет эксплуатации затворов.

3.13.2. Специальные инструменты

Поставка должна включать один полный комплект специальных инструментов, необходимых для монтажа и обслуживания затвора. Все специальные инструменты должны быть постоянно маркированы с указанием их конкретного назначения и размещены в запираемом переносном металлическом шкафу для инструментов.

Рым-болты, подъемные проушины, скобы, стропы и любое другое специальное оборудование, необходимое для транспортировки на объект или монтажа затвора, должны быть поставлены.

4. ЗАТВОРЫ ДОННОГО ВОДОВЫПУСКА

4.1. Общие положения

Эта глава охватывает специальные технические спецификации для одного (1) комплекта затворов донного водовыпуска, включающего два высоконапорных, закрытых, направляемых, вертикальных сдвижных затвора в тандеме с полотном затвора, кожухами затвора, байпасной системой, гидравлическими подъемниками, системами управления, фитингами и соединениями, необходимыми для работы затворов, как показано на чертежах.

4.2. Проектные данные

- Тип	Высоконапорный закрытый и направляемый затвор
- Количество	Два, один в качестве рабочего и один в качестве аварийного
- Размеры проема	
• - Для служебных ворот	2,50 x 3,12 м (ширина x высота)
• - Для аварийных ворот	2,50 x 3,37 м (ширина x высота)
- Высота порога (прибл.)	1030,00 м над уровнем моря
- Рабочий уровень	1037,26 м над уровнем моря
- Макс. расход при нормальном напоре	220 м³/с
- Нормальный подъем	1096,00 м над уровнем моря
- Макс. подъем (наводнение 10000 лет)	1100,00 м над уровнем моря
- Тип подъемника	Электрогидравлический подъемник
- Количество гидроагрегатов	1 комплект
- Рабочая скорость	0,3 м/мин (приблизительно)
- Условия эксплуатации	
• - Для служебных ворот	Под полным потоком
• - Для аварийных ворот	Аварийное закрытие под полным потоком и нормальное закрытие и открытие при равном давлении
- Тип уплотнения	Бронза на нержавеющей стали сверху и по бокам, резиновое уплотнение на нержавеющей стали снизу
- Припуск на коррозию	2 мм
- Допустимые напряжения	Согласно стандарту DIN 19704

4.3. Критерии проектирования

Донные затворы водовыпуска должны быть установлены в тандеме. Затвор выше по течению будет работать как аварийный, а затвор ниже по течению — как рабочий. Затворы должны быть установлены в камере затворов, расположенной в туннеле донного водовыпуска.

Аварийный затвор должен работать только в полностью открытом или полностью закрытом положении. Однако рабочий затвор должен быть способен на частичное открытие. Затворы должны быть спроектированы для работы против максимального потока при максимальном статическом напоре и закрывать нижний водосброс без утечек.

В нормальном режиме работы затвор выше по течению будет управляться в условиях сбалансированного давления для обслуживания затвора ниже по течению. Однако в случае аварии затвор выше по течению должен быть способен закрываться при максимальном потоке.

Сбалансированное давление достигается с помощью внешнего байпаса, оснащенного двумя ручными клапанами. Когда давление с обеих сторон затвора выше по течению сбалансировано, дифференциальный переключатель давления, входящий в поставку, должен дать разрешение на дальнейшее открытие.

Затворы должны иметь прочную конструкцию и при любом частичном открытии не вызывать кавитации, вихрей, вибраций и неустойчивости. Для обеспечения работы затворов без кавитации и вибраций, определения сил открытия и закрытия, а также труб вентиляции, подрядчик должен провести исследование на гидравлической модели за свой счет в соответствии с разделом ниже.

Затворы должны удерживаться в открытом положении сервомоторами без использования механических устройств, а насос должен автоматически компенсировать небольшие утечки масла, которые могут возникнуть. Трубопроводы и соединения должны быть изготовлены таким образом, чтобы насос включался не чаще одного раза в неделю.

Каждый затвор должен быть полностью изготовлен и собран в мастерской. Основные сварные соединения на объекте не допускаются, за исключением сварки между корпусом затвора и стальной облицовкой канала донного водовыпуска.

Затворы должны быть спроектированы в соответствии со стандартами DIN 19704. Стыковые сварные швы должны быть рассчитаны на эффективность сварки 0,9.

Случаи нагрузки для затворов определяются следующим образом:

Случай NB: согласно нормальному уровню воды;

Случай BB: согласно максимальному уровню воды (наводнение с периодичностью 10 000 лет);

Случай AL: к случаю NB добавляется динамическое давление землетрясения, действующее на затворы;

Температурные эффекты ($\Delta t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Случаи нагрузки для корпуса затвора определяются следующим образом:

Случай NB: согласно нормальному уровню воды;

Случай BB: согласно максимальному уровню воды (наводнение с периодичностью 10 000 лет);

Внешнее давление от цементной затирки при 3 кг/см²;

Температурные эффекты ($\Delta t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$). Силы открытия и закрытия должны превышать силы сопротивления с коэффициентом безопасности 1,5.

4.4. Отчет об исследовании на гидравлической модели

Исследование на модели должно проводиться в полном диапазоне гидравлических рабочих напоров и расходов через 0, 2, 5, 10 и от 20 до 100% открытия затворов. Исследование должно использоваться для определения:

- Кавитации в затворах и пазах при максимальном уровне водохранилища и различной степени открытия;
- Кривых расхода в зависимости от открытия затвора при уровнях водохранилища;
- Струйного потока под затвором, в боковых пазах и ниже по течению от затвора;
- Вибраций затвора и отсутствия вредных резонансных частот;
- Нагрузок на затвор, вертикальных сил притяжения вниз и подъемных сил, действующих на затвор;
- Горизонтальных компонентов гидравлических сил, действующих на полотно затвора;
- Емкости и размеров вентиляционных отверстий для аэрации пространства между аварийным и рабочим затворами;
- Потребности в воздухе при совместной работе рабочего и аварийного затворов. После завершения исследования подрядчик должен предоставить представителю работодателя копии отчета, описывающего полную программу исследования на гидравлической модели, включая детали исследования, размеры компонентов, описание программы исследования, образцы расчетов, подробные списки и графические изображения результатов.

4.5. Конструктивные узлы

4.5.1. Конструкция затвора

Затворы должны быть изготовлены из сварных стальных секций, состоящих из горизонтальных балок и вертикальных ребер жесткости, которые поддерживают сплошную водонепроницаемую поверхность (обшивку). Обшивка должна находиться с верхней стороны по течению, а уплотнения — с нижней стороны по течению.

Конструкция затвора должна быть рассчитана в соответствии со стандартами DIN 19704. Затвор должен быть рассчитан с учетом горизонтального ускорения при землетрясении без возникновения постоянных деформаций, которые могут поставить под угрозу его работу. Полученная толщина должна быть увеличена на 2 мм для аварийных и рабочих затворов для учета коррозии. Минимальная толщина обшивки для затвора, корпуса и крышки не должна быть менее 15 мм.

4.5.2. Камера затвора

Корпус затворов, встраиваемый в бетон, за исключением крышки, должен быть полностью закрытого водонепроницаемого коробчатого типа, изготовленного из стальных

плит и профилей, и должен вмещать направляющие полотна затвора и уплотняющие поверхности.

Корпус должен иметь фланцы на пазе и пороге для обеспечения точной обработки и сборки компонентов.

Корпус должен быть изготовлен из сварных и/или болтовых частей; за исключением водонепроницаемых швов, сварка на объекте не допускается, и конструкция должна гарантировать полную водонепроницаемость всех соединений корпуса.

Части корпуса затвора, которые будут приварены к стальной облицовке, должны иметь подготовку кромок в соответствии с подготовкой кромок стальной облицовки.

Полученная толщина обшивки должна быть увеличена на 2 мм для корпусов и крышки для учета коррозии. Минимальная толщина обшивки не должна быть менее 20 мм.

В пазах затвора должны быть предусмотрены непрерывные закаленные полосы из нержавеющей стали, простирающиеся от порога до верхней крышки, чтобы обеспечить путь для антифрикционных подшипников и направляющих полос, прикрепленных к полотну затвора.

Рабочий затвор должен быть водонепроницаемым при частичной работе с верхним и боковым уплотнением, а верхняя уплотняющая плита поверхности нижнего кожуха по течению должна быть изготовлена из нержавеющей стали или облицована ею.

Уплотнение между корпусом и крышкой должно обеспечиваться синтетическими резиновыми прокладками.

4.5.3. Уплотнения

Затворы должны быть оснащены металлическими уплотнениями на верхней и боковой сторонах, причем химический состав уплотнений должен отличаться от состава седел.

Материал уплотнения должен быть немного мягче материала седел, чтобы избежать заедания сопрягаемых поверхностей под нагрузкой. Таким образом, уплотнение должно быть выполнено из контакта бронза-нержавеющая сталь, причем бронза находится на затворах, а нержавеющая сталь — на уплотняющей поверхности.

Бронзовые обработанные бруски должны быть прикреплены к лицевой стороне обшивки ниже по течению. Для нижнего уплотнения следует выбрать резиновое уплотнение, а соединение с металлическим уплотнением должно быть надежно водонепроницаемым.

Все уплотнения должны быть закреплены на затворе болтами из нержавеющей стали для облегчения их замены. Расстояние между болтами не должно превышать 100 мм.

Уплотнения должны быть защищены от возможных повреждений из-за застревания бревен или других объектов между уплотнениями и встроенными частями.

При подготовке затворов к транспортировке уплотнения должны быть сняты и упакованы отдельно. Утечки не допускаются.

4.6. Система управления

4.6.1. Гидравлические сервомоторы

Каждый затвор должен приводиться в действие одним гидравлическим сервомотором двойного действия. Соединение должно позволять легкую разборку для обслуживания. Минимальный запас хода должен составлять 50 мм (с обеих сторон поршня).

Расчет ствола цилиндра должен основываться на стандарте DIN 2413-1. При проведении проверки на статическое напряжение в эксплуатационном случае коэффициент безопасности "S" согласно DIN 2413-1: 1993-10, таблица 3, область I, должен быть увеличен на 40%.

Цилиндр должен быть изготовлен из стандартных бесшовных стволов в соответствии с DIN 1630 или DIN EN 10297-1. Внутренняя поверхность цилиндра должна быть расточена до равномерной концентрической отделки с шероховатостью поверхности не более 0,4 мкм.

Соединение между цилиндром и головками цилиндра не должно быть сварным.

Все соединения для трубопроводов давления масла и слива масла к цилиндру и от него должны быть по возможности сварными и изготовлены из нержавеющей стали. Должны быть предусмотрены необходимые вентиляционные и сливные отверстия. Цилиндр должен быть тщательно осмотрен визуально.

Цилиндр должен быть оснащен необходимыми устройствами для активации датчика индикации открытого положения и сигнализации полного открытия/закрытия, а также концевыми выключателями.

Сборка поршня и штока поршня должна состоять из цельного штока, поршня, поршневых колец и масляных уплотнений. Поршень должен быть изготовлен из литой стали и жестко соединен со штоком поршня. Соединение должно быть спроектировано для легкой разборки в целях обслуживания. Шток поршня должен быть изготовлен из нержавеющей стали с массовой долей хрома не менее 15,5%, например, X20CrNi17-2, и покрыт твердым хромом по всей длине толщиной не менее 50 мкм или из нелегированной стали с оксидно-керамическим покрытием по всей длине толщиной не менее 150 мкм и поверхностной твердостью от 800 до 1000 HV. Поверхности штока поршня должны быть обработаны так, чтобы значение Ra не превышало 0,3 мкм.

Рабочее давление в гидравлическом цилиндре и гидравлической системе должно быть рассчитано в соответствии с DIN 19704-1: 1998-05, раздел 8.5.2.

Расчетное рабочее давление в остальной части системы не должно превышать 200 бар.

Расчетное рабочее давление в гидравлическом цилиндре не должно превышать 180 бар.

Кольца и масляные уплотнения на поршне должны предотвращать утечку масла с одной стороны поршня на другую при дифференциальном давлении до 150% от расчетного рабочего давления в остальной части системы.

Должен быть предусмотрен возвратный трубопровод достаточно большого диаметра от нижней части цилиндра к верхней для циркуляции масла во время закрытия. Затворы должны преодолевать последнюю часть хода закрытия с уменьшенной скоростью.

Уплотнительная набивка в нижней головке цилиндра должна быть V-образной или аналогичной.

Для правильного удаления воздуха из гидравлического цилиндра должны быть предусмотрены соединения для измерения давления в подходящих местах.

Все подшипники для цапф гидравлических цилиндров должны быть самосмазывающимися. Скользящие поверхности подшипниковых штифтов должны быть изготовлены из нержавеющей стали.

Вентиляционные отверстия с пробками должны быть просверлены через нижний фланец каждого цилиндра и через каждую крышку цилиндра.

4.6.2. Гидравлическая система

Для двух тандемно управляемых затворов должен быть предоставлен один полный насосный комплект.

Подрядчик должен поставить полную гидравлическую систему, необходимую для обеспечения полной и эффективной установки в соответствии с намерениями настоящих спецификаций. Компоненты гидравлической системы должны включать все трубопроводы, гибкие соединения, запорные, дроссельные и регулирующие клапаны, переключатели высокого и низкого давления, подвески и опоры для труб и клапанов, насосные агрегаты, масляный бак, манометры, приборы и принадлежности, а также все необходимое масло.

Два масляных насоса и двигателя с возможностью переключения, один для нормальной работы, а другой в качестве автоматического резервного для подачи масла в сервомоторы, должны быть предоставлены.

Автоматический резервный насос должен запускаться в случае отказа основного насоса или низкого давления в напорной линии. Оба насоса также должны управляться кнопками.

Гидравлическая система должна быть установлена внутри камеры затворов донного водовыпуска, как показано на чертежах.

Насосный комплект должен быть спроектирован для управления одним затвором за раз с использованием одного насоса.

Ручной насос должен быть предоставлен для использования в случае аварии.

Масляная система должна быть оснащена магнитными фильтрами на линиях нагнетания и всасывания. Засорение фильтров должно быть индицировано.

Должно быть предусмотрено достаточное дросселирование на сервомоторе, чтобы гарантировать, что скорость закрытия затвора не будет чрезмерной в случае любой неисправности трубопровода.

Каждый насос должен быть оснащен обратным клапаном. Скорость закрытия затвора должна быть регулируемой в широких пределах с помощью дроссельного клапана на линии нагнетания.

Масляный бак, изготовленный из стальных плит, должен быть поставлен. Общая емкость масляного бака должна составлять 150% объема гидравлических сервомоторов и всех трубопроводов. Анкерные болты и приспособления для крепления бака к бетону должны быть поставлены. Бак должен быть полностью закрыт и оснащен фильтром-вентилятором и сетчатым фильтром.

Бак должен быть оснащен сливными кранами, перегородками и соединениями для линий возврата масла. Индикатор уровня масла, показывающий уровень масла в резервуаре, должен быть установлен снаружи бака и надежно защищен от повреждений. Также должны быть предусмотрены индикаторы температуры и давления масла.

Все трубы должны быть из нержавеющей стали, пригодной для давления масла, превышающего выбранное рабочее давление на 50%.

Фитинги должны быть коваными стальными фитингами с приставной сваркой. Изгиб труб путем нагрева не допускается.

Каждый насос с электродвигателем состоит из полностью закрытого электродвигателя с входом для кабеля, соединенного посредством эластичного соединения с шестеренчатым насосом. Зубья шестерен должны быть закалены на глубину не менее 0,3 мм.

Масляные насосы должны быть способны работать против 150% номинального давления.

Оборудование гидравлического силового агрегата должно быть предоставлено в соответствии с чертежом как минимум.

4.7. Управление

Затворы должны управляться индивидуально. Подрядчик должен обеспечить локальное управление для подъема и опускания затворов. Кроме того, опускание рабочего затвора и аварийное опускание охранного затвора также должны осуществляться с пульта управления дамбой.

Одна панель управления для обоих затворов должна быть предоставлена в камере затворов донного водовыпуска.

Панель управления должна иметь все сигналы тревоги и индикаторы, перечисленные в Приложении А, а также необходимые контакты для передачи сигналов на пульт управления дамбой.

Управление затворами должно осуществляться с помощью кнопок. Панель управления должна быть оснащена следующими элементами управления:

- Один «переключатель режимов» для операций «Нормальный», «Обслуживание» и «Выключено» с замком и ключом;
- Один «переключатель» для выбора затвора;
- Одна кнопка «открытие», одна «стоп» и одна «закрытие» для каждого затвора;
- Одна кнопка «пуск» и одна «стоп» для электрогидравлических насосов системы;
- Одна кнопка «аварийное закрытие» для аварийного затвора;
- Один «переключатель» для операций «ручной» и «автоматический» для электрогидравлических насосов;
- Один «переключатель» для выбора «насос №1», «насос №2» для основного насоса;
- Один переключатель для ламп «включено», «выключено»;
- Одна кнопка «тест ламп». На пульте управления дамбой должны быть предусмотрены

следующие элементы управления:

- Одна кнопка «закрытие» для рабочего затвора;
- Одна кнопка «аварийное закрытие» для охранного затвора. При установке переключателя режимов на «обслуживание» нормальное управление и команды из удаленного источника должны быть отключены, и затворы донного водовыпуска будут работать независимо от нормальных условий эксплуатации для целей обслуживания. При установке переключателя режимов на «выключено» все управление должно быть отключено.

При установке переключателя режимов на «автоматический», если выбранный насос выходит из строя, резервный насос должен запуститься, и сигнал тревоги должен сработать на локальной панели управления, как показано на чертежах. Аварийный затвор должен быть оснащен концевыми выключателями открытия/закрытия и концевыми выключателями, которые активируются во время его опускания в положении полного открытия затвора. Начиная с полного открытия, контакты должны срабатывать в следующей последовательности:

- Контакт первого уровня: Запуск основного насоса
- Контакт второго уровня: Сигнал тревоги и закрытие рабочего затвора

Вышеуказанные контакты двух уровней должны срабатывать соответственно при опускании затвора на 5 см и 10 см ниже полностью открытого положения.

Каждый уровень работы должен быть независимо регулируемым в диапазоне ± 10 см от указанных значений.

Механический индикатор положения затвора, расположенный рядом с гидравлическим цилиндром, должен быть предусмотрен для каждого затвора.

Электрический индикатор положения затвора, расположенный на локальной панели управления, должен быть предусмотрен для рабочего затвора с преобразователем для передачи удаленного сигнала на пульт управления дамбой; сигнал должен быть непрерывного типа (4-20 мА).

Система отключения в полностью закрытом положении каждого затвора должна активироваться переключателями высокого давления после полного уплотнения.

4.8. Последовательность управления

В нормальном режиме работы затвор ниже по течению действует как рабочий затвор и должен быть способен открываться и закрываться в полном диапазоне потока.

Затвор выше по течению, используемый как охранный затвор, должен закрываться только тогда, когда затвор ниже по течению закрыт и нет потока воды. Однако в случае аварии затвор выше по течению также должен быть способен закрываться при максимальном потоке.

Два ручных внешних байпасных клапана должны сбалансировать давление с обеих сторон затвора выше по течению; при достижении равновесия давления дифференциальный переключатель давления, входящий в поставку, должен дать разрешение на дальнейшее открытие. Дифференциальный переключатель давления должен быть оснащен фильтром и сливом.

4.9. Электрическое оборудование

Затворы должны быть полностью укомплектованы всем электрическим оборудованием, необходимым для работы. Все внешние соединения с насосным агрегатом должны осуществляться через стандартные жидкостно-плотные гибкие металлические кабельпроводы.

Электродвигатели и другие устройства затворов, требующие питания переменного тока, должны обеспечиваться через общую локальную панель управления, которая питается от распределительного щита камеры охранного дроссельного клапана, как показано на чертежах.

Все электрическое оборудование и панели должны быть пригодны для наружной эксплуатации (IP 54). Панели управления должны быть расположены внутри камеры затворов донного водовыпуска.

Панель питания и управления должна соответствовать требованиям, указанным в Общих технических спецификациях.

4.10. Обслуживание

Конструкция затворов и сервомоторов должна обеспечивать легкость эксплуатации и обслуживания. Для обслуживания в камере затворов предусмотрен электрический мостовой кран, как показано на чертежах. Указанная грузоподъемность крана является ориентировочной. Подрядчик должен подтвердить это значение, увеличив его при необходимости.

Подрядчик также должен поставить все необходимые аксессуары, которые потребуются для разборки и обслуживания затворов в камере затворов (без использования устройств, поставляемых другими сторонами).

4.11. Фитинги и аксессуары

4.11.1. Байпас и воздушные клапаны

Должна быть предусмотрена одна байпасная система для заполнения пространства между двумя затворами. Система должна включать два ручных клапана (PN16) (основной и охранный) и все необходимые трубопроводы (PN16).

Достаточное количество дисковых вентиляционных клапанов (PN16) между рабочим и аварийным затворами и один воздушный клапан на каждой крышке должны быть предусмотрены. Размер и количество клапанов должны быть определены исследованием на модели. Минимальный размер дисковых вентиляционных клапанов должен составлять 300 мм. Под каждым воздушным клапаном для обслуживания должен использоваться затворный клапан (PN16).

4.11.2. Опоры для кабелей и трубопроводов

Поставка должна включать все необходимые опоры и фитинги для кабелей и трубопроводов.

4.11.3. Масло для первой заливки

Подрядчик должен поставить достаточное количество гидравлической жидкости для двух заливок системы. Гидравлическая жидкость должна быть пригодна для климатических условий и предполагаемого использования. Гидравлическое масло должно поставляться в невозвратной таре.

4.12. Допуски

В целом применяются положения Общих технических спецификаций. Уплотняющая поверхность корпуса затвора и кожуха не должна отклоняться от истинной плоскости более чем на 0,3 мм. Допустимые отклонения затвора должны составлять $\pm 0,2$ мм по ширине и ± 1 мм по высоте.

4.13. Испытания

Во время изготовления и установки подрядчик должен провести все рутинные и специальные испытания в соответствии с применимыми стандартами и соответствующими статьями настоящих Общих и Специальных технических спецификаций.

4.13.1. Заводские испытания

а) Механические испытания

Затворы, кожухи, сервомоторы и гидравлический насосный комплект с шкафами и другим оборудованием должны быть собраны на заводе для осмотра и испытаний инженерами.

Заводская сборка сервомотора должна включать цилиндр, головки, поршень, шток поршня, кольца, набивку и сальники.

Движение затворов должно быть плавным, без рывков или заеданий и с минимальным трением.

Цилиндр с поршнем, прижатым к верхней головке или несущему элементу, должен подвергаться в течение 30 минут давлению, в 150% превышающему давление, необходимое для подъема затвора. Во время такого испытания масло не должно просачиваться через набивку штока, и только незначительное количество — через набивку поршня. Работа концевых выключателей должна быть проверена во время этих испытаний.

Гидравлический насосный агрегат должен быть включен в испытание. Система должна быть заполнена гидравлическим маслом, тщательно провентилирована и испытана на полное расчетное давление сброса. Все фитинги, соединения, трубопроводы и аксессуары должны оставаться герметичными во время испытания.

Гидравлическое масло, используемое в испытаниях, должно быть аналогично маслу, которое будет поставлено по контракту.

После заводской сборки затворы и гидравлические сервомоторы с необходимыми маркировками должны быть разобраны на основные узлы. Панели управления должны поставляться полностью собранными, за исключением хрупких компонентов, которые потребуют отдельной упаковки.

б) Испытания гидравлической системы

Заводская сборка сервомотора должна включать цилиндр, головки, поршень, шток поршня, кольца, набивку и сальники.

Цилиндр с поршнем, прижатым к верхней головке или несущему элементу, должен подвергаться в течение 30 минут давлению, в 150% превышающему давление, необходимое для подъема затвора. Во время такого испытания масло не должно просачиваться через набивку

штока, и только незначительное количество — через набивку поршня. Работа концевых выключателей должна быть проверена во время этих испытаний.

Гидравлические насосные агрегаты должны быть включены в испытание. Система должна быть заполнена гидравлическим маслом, тщательно провентилирована и испытана на полное расчетное давление сброса. Все фитинги, соединения, трубопроводы и аксессуары должны оставаться герметичными во время испытания.

Гидравлическое масло, используемое в испытаниях, должно быть аналогично маслу, которое будет поставлено по контракту.

После заводской сборки затвор и гидравлический сервомотор с необходимыми маркировками должны быть разобраны на основные узлы. Панели управления должны поставляться полностью собранными, за исключением хрупких компонентов, которые потребуют отдельной упаковки.

с) Испытания электрического оборудования

Двигатели и панели, полностью собранные, должны быть испытаны в соответствии со стандартами. Для электродвигателей должны быть измерены значения крутящего момента и пускового тока.

Управление насосным комплектом для масла, полностью подключенное, должно быть проверено для подтверждения его правильной работы.

d) Испытания сварки

Все основные сварные швы должны быть проверены в соответствии с процедурой, указанной в Общих технических спецификациях.

Все основные сварные швы должны быть подвергнуты ультразвуковому контролю. Не менее 20% сварных швов и 100% Т-образных соединений должны быть проверены рентгенографически в соответствии с процедурами, указанными в Общих технических спецификациях. В любом случае все стыковые швы плит должны быть 100% ультразвуково проверены.

Испытания методом красящего проникновения на скользящих поверхностях должны проводиться в мастерской.

Сварные швы с перекрестными соединениями не допускаются ни в каких случаях.

4.13.2. Испытания на объекте

Перед проведением каких-либо механических испытаний все части должны быть должным образом смазаны, и должен быть проведен тщательный осмотр всех механических и конструктивных соединений. Испытания включают, но не ограничиваются описанными здесь.

Затворы после установки и полного подключения должны быть осмотрены и испытаны для проверки зазоров, точности выравнивания и плавности работы.

Все движения полностью собранных затворов должны быть тщательно и полностью проверены на свободу работы, отсутствие внутренних механических помех, правильное выравнивание всех движущихся частей и отсутствие вибраций. Электрическая непрерывность

всех цепей и обслуживание всех точек, требующих смазки, должны быть полностью проверены.

Испытания, которые должны быть выполнены, включают следующее:

- Проверка скоростей закрытия и открытия;
- Испытание давлением собранных трубопроводов на 150% номинального давления;
- Испытания на утечку воды (максимально допустимая утечка воды должна быть менее 2 л/с/м и не превышать 10,0 л/с);
- Испытание байпасных клапанов;
- Проверка работы всех элементов управления и концевых выключателей.

4.14. Защитные покрытия

Подготовка поверхности и защитные покрытия должны соответствовать разделу 4.5 Общих технических спецификаций.

4.15. Запасные части и специальные инструменты

4.15.1. Запасные части

Все запасные части должны быть взаимозаменяемыми, изготовленными из того же материала и с тем же качеством исполнения, что и соответствующие оригинальные части, и соответствовать тем же требованиям.

Подрядчик должен поставить для каждого затвора следующие запасные части, которые считаются минимальным требованием:

- Один (1) полный комплект уплотнений;
- Один (1) комплект прокладок;
- Десять процентов (10%) всех используемых гаек и болтов;
- Один (1) электроклапан для подачи сервомотора каждого размера и типа;
- Один (1) концевой и магнитный выключатель каждого типа;
- Двадцать процентов (20%) резисторов, автоматических выключателей, контакторов, кнопок, переключателей и реле каждого типа (с минимумом один);
- Сто процентов (100%) предохранителей и ламп;
- Один (1) дифференциальный переключатель давления каждого типа;
- Один (1) переключатель температуры и уровня каждого типа;
- Один (1) переключатель давления каждого типа;
- Один (1) термостат;
- Один (1) фильтр каждого типа;
- Подрядчик должен поставить любые другие запасные части, которые он считает необходимыми для пяти лет эксплуатации затворов.

4.15.2. Специальные инструменты

Подрядчик должен поставить один полный комплект специальных инструментов, необходимых для монтажа и обслуживания затвора и аксессуаров. Все специальные инструменты должны быть постоянно маркированы с указанием их специального назначения и размещены в запираемых металлических шкафах для инструментов.

В комплект поставки должно быть включено все специальное оборудование, необходимое для погрузки/разгрузки на объекте и монтажа затворов.

5. СТАЛЬНАЯ ОБЛИЦОВКА

5.1. Общие положения

Эта глава охватывает специальные технические спецификации для следующего оборудования и его принадлежностей, запасных частей и специальных инструментов:

- Один (1) комплект стальной облицовки и принадлежностей для донного водовыпуска, включая раструбы, короба, уменьшения коробов;
- Два (2) комплекта стальной облицовки и принадлежностей для водозаборов, включая раструбы, короба, переходы, прямые трубы; Вышеуказанное оборудование должно быть полностью укомплектовано соответствующими встроенными элементами.

5.2. Проектные данные

Нормальный уровень воды:	1096,00 м над уровнем моря
Максимальный уровень воды:	1100,00 м над уровнем моря
Высота центральной линии	См. контрактные чертежи стальных облицовок
Длина	См. контрактные чертежи
Внутренние размеры	См. контрактные чертежи

5.3. Критерии проектирования

5.3.1. Общие характеристики и положения

Контрактные чертежи предназначены для отображения общего расположения и характеристик облицовок; окончательное проектирование должно быть выполнено изготовителем и строго соответствовать контрактным чертежам в части расположения и размеров.

Проектирование должно быть выполнено изготовителем в соответствии с лучшими современными практиками и требованиями настоящих спецификаций, несмотря на возможные незначительные упущения в них.

Проектирование должно проводиться без учета влияния бетона.

Расчеты изготовителя должны выполняться общепризнанными и известными методами, уже применявшимися при проектировании других подобных объектов, и должны быть представлены инженеру для утверждения вместе со списком объектов, где использовались те же расчеты.

Дренаж для снятия внешнего давления воды не предусматривается.

Облицовки должны быть самонесущими как для внутреннего, так и для внешнего давления.

Исключения из этого положения не допускаются. Облицовки должны быть усилены с внешней стороны балками; анкерные когти не принимаются.

5.3.2. Условия нагрузки

Облицовки должны быть спроектированы с учетом наиболее критической комбинации следующих условий нагрузки:

- а) Внутреннее давление воды, соответствующее нормальному уровню воды в водохранилище, как нормальный (постоянный) случай;
- б) Внутреннее давление воды, соответствующее максимальному уровню воды в особом случае (0,01%) в водохранилище, как особый (прерывистый) случай;
- в) Внешнее давление от цементной затирки при 3 кг/см²;
- г) Внешнее давление воды из-за насыщения, инфильтрации, равное нормальному напору воды;
- д) Нагрузка от действия силы тяги;
- е) Температурные эффекты ($\Delta t = 10^\circ\text{C}$).

Напряжение "Т", которое следует сравнивать с допустимым, должно быть рассчитано по следующей формуле:

$$T = (T_{12} + T_{22} - T_1 \cdot T_2)^{0.5}$$

Где T_1 и T_2 — основные двухосные напряжения.

Значения T_1 и T_2 , учитываемые при определении T , должны соответствовать наиболее неблагоприятным условиям.

Сравнительное напряжение "Т" не должно превышать допустимые значения, полученные по следующей формуле:

$$f = c \cdot k \cdot F$$

Где "f" — допустимое напряжение, "F" — нижняя точка предела текучести рассматриваемого материала, "K" — коэффициент безопасности согласно стандарту DIN 19704 для прямоугольной стальной облицовки и согласно стандарту СЕСТ для круглой стальной облицовки, "Min. K = 1.7" — коэффициент безопасности согласно стандарту СЕСТ, а "c" — коэффициент сварки, равный 0,9.

Стальная облицовка должна выдерживать давление затирки, прикладываемое локально или равномерно на внешнюю поверхность, без участия бетона; изготовитель должен усилить стальную облицовку во время затирки временными внутренними конструкциями,

которые он должен спроектировать, поставить, установить и демонтировать. Изготовитель несет ответственность за все последствия любых деформаций стальной облицовки из-за вышеуказанных условий.

При проектировании стальной облицовки для внешнего давления средний зазор между бетоном и стальной облицовкой должен приниматься равным $0,001R_i$, где R_i — гидравлический радиус стального канала ($R_i = A/2p$, где A — площадь стального канала, $2p$ — периметр стального канала).

Толщина, рассчитанная в соответствии с вышеуказанными допустимыми напряжениями, должна быть увеличена на:

- 2 мм для учета коррозии;

Минимальная толщина оболочки стальной облицовки для водозабора и донного водовыпуска не должна быть менее 15 мм.

Принятая толщина облицовки в любом случае не должна быть меньше значения, определенного по следующей формуле:

$$S_{\min} = \frac{R_i + 1000}{200}$$

Где $S_{\min}$ — минимальная толщина, а R_i — гидравлический радиус канала (все в миллиметрах).

5.3.3. Материалы

Предлагаемый тип стали должен быть таким же, как уже использованный в аналогичных известных конструкциях. Изготовитель должен включить в предложение описание предлагаемых типов стали с указанием всех физико-химических характеристик материалов.

Облицовки, которые будут использоваться в конструкции, должны быть изготовлены из мелкозернистой стали, устойчивой к старению, с ударной вязкостью не менее 25 Дж при -20°C (по Шарпи V), легко свариваемой.

Соотношение между пределом текучести и пределом прочности на разрыв, полученное в результате технологических испытаний материалов, не должно превышать 0,72.

Фланцы должны быть прокатными или коваными, без сварки, и соединяться с трубой с помощью стыкового сварного соединения с V-образной канавкой.

5.4. Конструктивные узлы

5.4.1. Общие положения

Изготовитель вправе самостоятельно выбирать разделение работ между мастерской и объектом в соответствии со своим опытом.

Облицовки должны быть точно вырезаны по требуемым размерам с подготовкой кромок с учетом типа сварки и толщины плит для формирования наиболее удобных швов, обеспечивающих полное проплавление сварки.

Продольные швы соседних элементарных труб не должны быть выровнены.

При необходимости плиты должны быть изогнуты или прокатаны до истинных круглых сечений с непрерывной кривизной от кромок плит. Коррекция кривизны ударами не допускается.

Детали должны быть промаркированы в мастерской перед отправкой на объект.

Особое внимание следует уделить совмещению кромок и концов соседних облицовок, причем толщина соединяемых облицовок на сварных кромках не должна отличаться более чем на 2 мм.

5.4.2. Сварка

Процедуры сварки должны соответствовать указаниям Общих спецификаций.

В любом случае процедуры сварки должны быть квалифицированы и утверждены инженером перед началом изготовления, а также термическая обработка сварных частей, если таковая имеется. Термическая обработка до $600 \pm 20^\circ\text{C}$ для швов каждого участка в любом случае требуется для стальной облицовки толщиной более 30 мм и/или с пределом прочности на разрыв более 520 МПа. Температура термической обработки должна поддерживаться в течение двух минут на каждый миллиметр толщины стальной облицовки; она может быть снижена до $500^\circ\text{C} \pm 20^\circ\text{C}$ с увеличением длительности термической обработки согласно следующей таблице:

Термическая обработка

Температура термической обработки ($^\circ\text{C}$)	600	550	500
Время, необходимое для термической обработки (мин/мм) (относительно толщины стальных плит)	2	6	25

Термическая обработка, проведенная в соответствии с вышеуказанными положениями, должна сопровождаться медленным охлаждением.

Процедуры сварки и испытаний должны гарантировать для всех сварных швов, выполненных вне туннелей, коэффициент эффективности, равный 1.

Все сварщики и операторы сварки должны быть квалифицированы в соответствии со стандартами.

Если, по мнению инженера, работа какого-либо сварщика в любое время вызывает сомнения, такой сварщик должен будет пройти дополнительное квалификационное испытание.

Тестовые плиты, из которых будут изготовлены образцы для квалификационных испытаний сварщиков или процедур сварки, должны иметь такие размеры, чтобы все необходимые образцы для испытаний могли быть получены с отбраковкой не менее 5 см с каждого конца каждой тестовой плиты. Тестовые плиты должны быть изготовлены из материала, идентичного используемому при изготовлении стальных облицовок, и техника,

включая скорость, положение и используемые сварочные электроды, должна быть идентична той, которая фактически требуется для изготовления.

Инженер должен присутствовать при подготовке всех тестовых плит.

Все квалификационные испытания сварщиков или процедур сварки, включая физические испытания образцов, сваренных в квалификационных испытаниях, должны проводиться за счет изготовителя, который предоставит инженеру заверенные копии отчетов о физических испытаниях образцов, сваренных в квалификационных испытаниях.

5.4.3. Допуски

Внутренний диаметр облицовки каждого участка должен рассчитываться как среднее значение диаметров, измеренных на обоих концах участка. Каждый из этих диаметров должен быть получен по следующей формуле:

Круглое сечение	Квадратное сечение
$D = \frac{C}{\pi} - 2T$	$D = 2 \cdot R_i - 2T = (2A) / (2P) - 2T$

Где:

D = полученный внутренний диаметр;

T = измеренная толщина стальной плиты;

C = измеренная внешняя окружность;

R_i = внешний гидравлический радиус канала;

A = площадь внешнего сечения канала;

2P = периметр внешнего сечения канала.

Внутренние размеры облицовки не должны отличаться более чем на ±0,3% от номинальных внутренних размеров.

Максимальное отклонение от круглости на длине хорды 1,5 м не должно превышать 5 мм, что определяется с помощью круглого шаблона. Максимальное отклонение от прямолинейности не должно превышать 5 мм, что определяется с помощью прямой линейки.

Измеренная внешняя окружность или периметр должны иметь допуск плюс или минус 0,1% от теоретической внешней окружности или периметра.

Максимальное отклонение от теоретической формы, измеренное как разница между максимальным и минимальным диаметром в одном сечении, не должно превышать 0,5% внутреннего диаметра облицовки.

Прямолинейность каждого участка должна быть в пределах 0,1% длины рассматриваемого участка.

Максимальный сдвиг между внутренними поверхностями двух соседних участков на краях стыкового сварного шва должен быть менее 12% толщины плиты плюс 1 мм для продольных швов и плюс 2 мм для окружных швов.

Максимальное отклонение радиуса изгиба от номинального значения не должно превышать ±0,3%; допуск угла изгиба составляет ±20°.

В любом случае ось облицовки не должна отклоняться в любой из своих точек более чем на 10 см от проектной оси.

Максимальное отклонение центра тяжести концевых участков относительно высоты, указанной в технических спецификациях, не должно превышать ± 1 мм.

Внешний край концевых фланцев не должен отклоняться от плоскости, ортогональной оси облицовки, более чем на ± 1 мм.

Изготовитель должен тесно сотрудничать с изготовителем клапанов и изготовителем затворов, чтобы гарантировать идеальную подгонку облицовок к фланцам клапанов и сварным швам кожухов скользящих затворов.

5.5. Транспортировка и монтаж

5.5.1. Транспортировка

Из-за ограничений транспортировки частей облицовки с базы гидромонтажа, они должны быть разделены на секции подходящего веса и размеров для сварки на объекте.

Эти секции должны быть оснащены приспособлениями для их обработки во время операций погрузки и разгрузки, а также во время монтажа.

Чтобы избежать деформации во время транспортировки, они должны быть соответствующим образом усилены по мере необходимости.

5.5.2. Отверстия для дополнительной цементации

Стальная облицовка для донного водовыпуска должна быть оснащена отверстиями для дополнительной цементации по всей длине облицовок (при необходимости).

Отверстия для цементации, укомплектованные заглушками, должны быть резьбовыми диаметром 50 мм и располагаться следующим образом:

1 отверстие на каждые 6 м².

Подрядчик должен поставить все необходимые винтовые заглушки, которые должны быть приварены на место и отшлифованы до гладкой поверхности, выровненной с облицовкой.

5.5.3. Прочее

Помимо вышеуказанного, изготовитель должен обеспечить всеми приспособлениями для стальных облицовок (даже встраиваемые в бетон), необходимые для монтажа.

5.6. Покраска

Подготовка поверхности и защитные покрытия должны соответствовать Общим техническим спецификациям (Система защитного покрытия Р-1).

5.7. Испытания

5.7.1. Механические испытания

Каждая прокатная плита должна подвергаться следующим испытаниям на сталелитейном заводе:

- Испытание на растяжение;

- Испытание на изгиб;
- Испытание на удар по Шарпи с V-образным надрезом;
- Ультразвуковое испытание (на сталелитейном заводе или в мастерской). Каждая плита должна быть протестирована ультразвуковым по всему краю (не менее 20 см). Плиты толщиной 25 мм и более должны быть протестированы ультразвуковым по всей поверхности с шагом сканирования 10 x 10 см;
- Испытание красящим проникновением или магнитными частицами на кромках после подготовки к сварке.

5.7.2. Проверка сварных швов

Все основные сварные швы должны быть протестированы рентгенографически (20%) и ультразвуковым способом (100%). 100% Т-образных сварных швов должны быть рентгенографированы. Рентгенографический способ контроля допускается по согласованию с проектировщиком заменить на ультразвуковой фазированный способ контроля. Сварные швы с перекрестными соединениями не допускаются ни в каких случаях.

Отделка сварных поверхностей должна быть подходящей для таких испытаний, поэтому при необходимости сварные швы должны быть отшлифованы.

Ультразвуковая проверка должна проводиться после тщательной калибровки испытательного оборудования в соответствии со стандартами.

Тестирующий должен ставить клеймо на каждом проверенном и признанном удовлетворительным шве с обоих концов своим личным штампом. Швы, обнаруженные без клейма или с необоснованными клеймами, должны быть повторно проверены.

Если ультразвуковая проверка выявит дефекты, соответствующий шов должен быть рентгенографирован.

Рентгенографическая оценка дефектов имеет приоритет над ультразвуковой оценкой.

Изготовитель должен предоставить инженеру полный письменный отчет, охватывающий все рентгенограммы и описывающий все дефекты.

Вся поверхность швов, выполненных вручную, должна быть проверена красящим проникновением или магнитными частицами.

Дефекты должны быть устранены шлифовкой, а поверхность должна быть повторно проверена.

5.7.3. Проверка покраски

Проверка покраски должна проводиться в мастерской и на объекте в соответствии со следующими положениями:

- а) Проверка используемых материалов;
- б) Проверка пескоструйно обработанных поверхностей труб;
- в) Измерение толщины различных слоев краски и общей толщины покрытия с помощью подходящего измерителя.

Изготовитель должен поставить все оборудование для проверки покраски.

5.8. Специальные инструменты

Изготовитель должен поставить один полный комплект специальных инструментов, необходимых для монтажа и обслуживания аксессуаров облицовок.

Все специальные инструменты должны быть постоянно маркированы с указанием их конкретного назначения и размещены в запираемом металлическом шкафу для инструментов.

Рым-болты, подъемные проушины, скобы, стропы и любое другое специальное оборудование, необходимое для транспортировки на объект или монтажа облицовок, должны быть поставлены.

6. КРАН МОСТОВОЙ ДЛЯ КАМЕРЫ ДОННОГО ВОДОВЫПУСКА

6.1. Общие положения

Эта глава охватывает специальные технические спецификации для следующего оборудования и его принадлежностей, запасных частей и специальных инструментов:

- Один (1) комплект оборудования мостового крана и его принадлежностей, запасных частей и специальных инструментов, расположенного в камере затворов донного водовыпуска.
- Один (1) комплект оборудования козлового крана и его принадлежностей, запасных частей и специальных инструментов, расположенного в камере затворов донного водовыпуска.

6.2. Проектные данные

Местоположение	Камера затворов донного водовыпуска
Тип	Мостовой кран
Количество	Один (1) комплект
Основная грузоподъемность (прибл.)	20 тонн
Вспомогательная грузоподъемность (прибл.)	—
Пролет	8,50 м
Макс. высота подъема (прибл.)	15,0 м
Скорость подъема (две скорости)	4,0; 0,5 м/мин
Скорость тележки (две скорости)	5,0; 1,0 м/мин
Скорость моста/портала	5,0 м/мин
Управление	Электромеханический привод
Питание	400/230 В переменного тока
Управление	Подвесной кнопочный блок

6.3. Критерии проектирования

а) Рельсы

Должны быть поставлены все необходимые рельсы, соединительные плиты и т.д. для рельсов крана.

Тип рельса для перемещения моста должен соответствовать расчетной силе колес.

Рельсы должны быть выровнены и закреплены таким образом, чтобы исключить возможность бокового смещения во время перемещения полностью нагруженного крана.

Конец пути крана должен быть оснащен прочными металлическими буферами.

б) Мост

- **Конструкция**

Конструкция моста должна быть выполнена из конструкционной стали утвержденного дизайна, обладать достаточной жесткостью и быть способной безопасно нести максимальную нагрузку на полной скорости перемещения, при любом положении тележки на мосту.

- Конструкция моста должна быть двухбалочной. Тележка должна перемещаться по рельсам с концевыми буферами, установленными на верху балки.

- **Перемещение**

Перемещение моста должно обеспечиваться двумя приводами, по одному с каждой стороны моста. Привод моста должен быть спроектирован для перемещения полностью нагруженного крана с номинальной скоростью и обеспечивать движение без вибраций и раскачивания.

- Система привода должна состоять из ведущего колеса, соответствующим образом соединенного через редуктор с электродвигателем. Также должен быть предусмотрен электрический тормоз.

- **Тележки**

Тележки поддерживают мост и содержат ведущие и ходовые колеса. В тележке крана должны быть установлены два колеса с двойным фланцем, одно из которых ведущее. Тележки должны быть оснащены опорами для прерывания колес, предотвращающими падение моста в случае поломки колеса или оси колеса.

с) Тележка

- **Конструкция**

Конструкция тележки должна быть сварной из профилей и плит мягкой стали и сконструирована таким образом, чтобы обеспечить достаточную жесткость. Тележка должна быть оснащена одним подъемником, установленным на раме тележки, с равномерным распределением нагрузки на все колеса без чрезмерного прогиба.

- **Перемещение**

Перемещение тележки должно обеспечиваться двумя приводами, по одному с каждой стороны тележки. Приводы тележки должны быть спроектированы так, чтобы движение при любых условиях было устойчивым и без вибраций и раскачивания.

- Для перемещения тележки должны быть предусмотрены четыре колеса, два из которых ведущие. Система привода должна состоять из ведущего колеса, соответствующим образом соединенного через редуктор с электродвигателем. Также должен быть предусмотрен электрический тормоз.

- **Подъемник**

Подъемники должны быть канатного типа с приводом от электродвигателя, с редуктором, электрическим тормозом, концевыми выключателями, барабанами и связанными компонентами. Двигатель подъемника, тормоз и редуктор должны быть установлены на общей раме. Барабан должен быть установлен на рамах, расположенных непосредственно над блоком шкивов у подъемного кронштейна.

- Система троса подъемника должна быть такой, чтобы нагрузка поднималась и опускалась равномерно, вертикально и без вибраций или изгиба при любых условиях эксплуатации.
- При проектировании канатных подъемников должны учитываться положения Общих технических спецификаций.

Подъем и опускание крюка должны быть строго вертикальными, без качания нагрузки. Подъемник должен быть оснащен следующим:

- **Тормоза**

Автоматические тормоза с пружинным набором и электрическим освобождением типа колодок (или дискового типа для электродвигателей с номинальной мощностью менее 5 кВт) должны быть устроены так, чтобы срабатывать при отключении тока или его сбоя.

Тормоз должен предотвращать ускорение нагрузки при опускании и удерживать нагрузку в любом желаемом положении, когда двигатели не работают. Тормозная способность в обоих направлениях должна составлять не менее 150% максимального крутящего момента привода.

- **Канатные барабаны**

Барабаны должны приводиться в действие электродвигателями через редукторы. Один ручной редуктор должен быть предусмотрен для опускания нагрузки в случае сбоя питания. Барабаны должны иметь достаточный диаметр и длину, чтобы вместить полное количество канатов без наложения, когда крюк находится в самом высоком положении. Крепление каната к барабану должно быть таким, чтобы в случае полного разматывания каната не возникало опасности его отсоединения от барабана.

- **Канаты**

Канаты должны быть из гибкой стали, из оцинкованной проволоки, пропитанной смазкой во время изготовления. Они должны быть спроектированы так, чтобы максимальная рабочая нагрузка не превышала одной пятой прочности каната на разрыв.

- **Крюки**

Крюки из ковanej стали, одинарного типа, должны быть оснащены упорным подшипником. Подшипник должен быть полностью закрыт и сконструирован так, чтобы предотвратить утечку смазки.

Крюки должны свободно вращаться и быть оснащены предохранительной защелкой.

6.4. Электрическое оборудование

6.4.1. Общие положения

Кран должен быть поставлен в комплекте со всем электрическим оборудованием, необходимым для его работы.

Все элементы должны быть полностью изолированы или защищены для предотвращения случайного контакта.

Питание должно осуществляться через главный отключающий выключатель линии, установленный на стене вблизи подъемников, и главный контактор, установленный на кране, оснащенный на трех фазах тепловыми реле с подходящим диапазоном регулировки и предохранителями высокой отключающей способности, ограничивающими ток.

Кран камер орошения должен питаться от распределительного щита камеры клапанов орошения, а кран камеры донного водовыпуска — от распределительного щита камеры охранного дроссельного клапана, и все предусмотренные средства должны быть обеспечены на панели крана.

Реле пониженного напряжения также должно быть предусмотрено на линии питания, предотвращая подачу питания на катушку главного контактора, если реле пониженного напряжения сработало. Также на линии питания должен быть установлен реле последовательности фаз.

6.4.2. Управление

Для крана подъемные и перемещающие движения должны контролироваться с помощью кнопочного блока, подвешенного к крану (подвесное управление). Для монорельсовых кранов подъемные и перемещающие движения должны контролироваться с индивидуальной местной панели управления (согласно пункту 7.5), а также с помощью кнопочного блока, подвешенного к крану (подвесное управление). Длина кабеля кнопочного блока должна обеспечивать удобное управление с операционного уровня.

Блок должен быть оснащен отключающим выключателем с ключом и кнопкой «стоп», воздействующей на катушку главного контактора.

Независимая кнопка с пружинным возвратом типа «мертвый человек» должна контролировать каждое движение.

Концевые выключатели переподъема, провисания каната, окончания движения и индикаторные лампы должны быть предусмотрены для кранов.

6.4.3. Система питания

Основу питания должен составлять четырехжильный медный проводник с изоляцией из синтетического каучука.

Кабели должны быть сверхгибкого типа, класса изоляции 4 кВ, пригодные для непрерывного переноса не менее 125% полного тока нагрузки.

Кабель должен поставляться в комплекте с клеммной колодкой.

Длина кабеля должна быть достаточной для полного хода крана.

6.4.4. Двигатели

Все двигатели должны быть полностью закрытого типа, с самовентиляцией, многофазного индукционного типа, предназначенного для кранов. Все двигатели должны быть с обмоточным ротором. Обмотки должны быть полностью пропитаны маслостойким и влагостойким составом, с защитой от грызунов и грибков, подходящей для тропического климата, с изоляцией класса F. Номинальная мощность должна быть рассчитана на 30 минут с повышением температуры на 75 °С. Все двигатели должны быть спроектированы для прерывистого режима

работы с коэффициентом прерывистости 40%, рассчитанным на 120 маневров в час. Двигатели должны быть оснащены антифрикционными подшипниками и закрытыми клеммными коробками. Двигатели с одинаковыми характеристиками должны быть взаимозаменяемыми и установлены таким образом, чтобы их можно было снять, пока нагрузка удерживается тормозом подъемника. Двигатели должны быть оснащены антиконденсационными нагревателями.

6.4.5. Концевые выключатели

Кран должен быть оснащен зубчатыми или винтовыми концевыми выключателями, которые автоматически размыкают силовую цепь соответствующего двигателя в заданных положениях и блокируют превышение конечного предела хода и подъема.

Кроме того, на кране должен быть установлен концевой выключатель, управляемый блоком, предотвращающий подъем крюкового блока выше максимально безопасного положения. Этот выключатель должен отключать силовую цепь, а сброс должен быть ручным.

6.4.6. Проводка

Проводка для силовых и управляющих цепей должна состоять из гибких многожильных медных проводников с изоляцией не менее 600 В. Изоляция должна быть из поливинилхлорида с температурой 75 °С. Силовая проводка должна быть рассчитана на тепловые требования и ограничивать падение напряжения на клеммах до не более 5% от напряжения питания. Окончания всех проводов и соединения на клеммных блоках должны быть постоянно маркированы кодовыми номерами, указанными на схеме проводки, предоставленной подрядчиком. Легенда, четко описывающая используемую кодировку, должна быть указана на схемах. Вся проводка должна быть протянута и промаркирована перед отправкой с завода-изготовителя.

6.4.7. Заземление

Все металлические части крана и аксессуаров должны быть электрически соединены между собой так, чтобы все оборудование могло быть заземлено при установке. Болтовые соединения с частями в контакте металл-металл и движущиеся компоненты с контактными поверхностями из металла, без промежуточного изоляционного материала между контактными поверхностями, включая рельсы, колеса и подшипники, могут считаться удовлетворительно соединенными.

6.4.8. Устройства безопасности

Поставка должна включать автоматические устройства ограничения нагрузки, которые предотвратят подъем грузов, превышающих заданные максимальные значения.

Ограничитель должен быть регулируемым в диапазоне от 80% до 110% номинальной нагрузки. Срабатывание ограничителя не должно препятствовать оператору опустить груз, который он пытался поднять.

6.5. Фитинги и аксессуары

Кран должен быть оснащен всеми аксессуарами, даже если они особо не упомянуты, необходимыми для обеспечения полной, безопасной и надежной работы.

6.6. Испытания

6.6.1. Заводская сборка

Все оборудование должно быть полностью собрано на базе подрядчика для осмотра по выбору представителя заказчика. Все необходимые регулировки должны быть выполнены в мастерской для достижения заданных допусков.

Без ограничения вышеизложенного, заводская сборка полного крана должна включать:

- Балки моста и порталную конструкцию с рельсовыми тележками и приводами;
- Поперечные связи балок моста;
- Подъемники тележки на балках моста;
- Полные подъемники с двигателями, тормозами, редукторами, элементами управления и т.д.;
- Полные приводы моста и тележки;
- Полные сборки крюка и шкивов;
- Электрические панели управления, пускатели, контакторы, индикаторы положения, концевые выключатели и т.д.

Если какие-либо из вышеуказанных сборок выявят неточности или другие дефекты, они должны быть исправлены до отгрузки.

Перед разборкой каждая сборка должна быть постоянно и четко промаркирована в мастерской для облегчения монтажа на объекте. Разборка должна проводиться только до степени, необходимой для транспортировки. В частности, должно быть минимальное отключение электрической проводки.

Все приводы подъемника, моста, портала или тележки должны быть собраны и протестированы в мастерской, как указано здесь. Операционные испытания должны быть проведены в мастерской на элементах управления и приборах для демонстрации соответствия требованиям спецификации.

Подрядчик должен завершить нанесение защитного покрытия в своей мастерской, как указано.

Представитель заказчика по своему усмотрению осмотрит все оборудование во время изготовления и перед отправкой и будет присутствовать на заводских испытаниях после окончательной сборки.

Заводские испытания должны включать, но не ограничиваться следующим:

а) Пробный запуск

Кран должен работать от источника питания, и испытания должны проводиться для подтверждения, следующего:

- Все зазоры и выравнивания в порядке, смазка нанесена, тормоза отрегулированы, все редукторы и зубчатые передачи работают без чрезмерного шума;
- Работа каждого элемента управления и выключателя вибрации, реле контактора и дру-

гих управляющих устройств удовлетворительна, и все концевые выключатели отрегулированы и функционируют правильно при всех условиях эксплуатации;

- Все цепи, блокировки и последовательности операций правильны;
- Все защитные устройства работают удовлетворительно;
- Все движения крана работают корректно.

б) Испытание нагрузкой

Кран должен быть протестирован для каждого движения с главным крюком, несущим:

- Номинальную нагрузку, при 110% номинальной нагрузки путем работы подъемника на номинальной скорости. Во время этих испытаний должны быть достигнуты указанные скорости при условии правильного поддержания питания крана;
- Перегрузку (125% номинальной нагрузки). Во время этих испытаний указанные скорости достигаться не обязаны, но сам кран должен быть способен выдерживать это состояние без затруднений.

с) Испытание на прогиб

Во время этого испытания должно быть установлено, что указанный максимальный прогиб не превышен. Испытания должны проводиться с номинальной нагрузкой в состоянии покоя и тележкой в центральном положении.

Измерение прогиба должно проводиться только после многократного приложения нагрузки.

д) Испытание тормозов

Все тормоза должны быть протестированы в условиях полной нагрузки, от максимальной скорости до остановки, три раза подряд без перегрева.

6.6.2. Полевые эксплуатационные испытания

Подрядчик должен провести полные эксплуатационные испытания каждого элемента работ. Испытания должны продемонстрировать, что все гарантии выполнены, и все оборудование соответствует требованиям контракта, будучи правильно установленным и отрегулированным для корректной и безопасной работы. Любые дефекты, выявленные во время тестирования, должны быть немедленно устранены, и испытания продолжены до тех пор, пока вся установка не будет признана удовлетворительно работающей.

Полевые испытания должны проводиться так же, как заводские, но с нагрузкой самой тяжелой части, которая фактически будет перемещаться краном.

6.7. Защитные покрытия

В целом применяются положения раздела 5 Общих технических спецификаций или стандарта DIN-ISO 13920.

6.8. Запасные части и специальные инструменты

6.8.1. Запасные части

Все запасные части должны быть взаимозаменяемыми, изготовленными из того же материала и с тем же качеством исполнения, что и соответствующие оригинальные части, и соответствовать тем же требованиям.

Подрядчик также должен поставить следующие запасные части, которые считаются минимальным требованием для каждого крана:

- Один (1) подшипник каждого используемого типа;
- Одна (1) прокладка каждого используемого типа;
- Один (1) концевой выключатель каждого типа и размера;
- Двадцать процентов (20%) контактов, кнопок, автоматических выключателей, реле, переключателей и контакторов каждого используемого типа, с минимумом один;
- Сто процентов (100%) предохранителей и ламп;
- Двадцать процентов (20%) каждого типа электронных плат с минимумом один;
- Десять процентов (10%) вспомогательного оборудования с минимумом одной штукой для каждого типа;
- Один (1) кнопочный блок (подвесное управление).

6.8.2. Специальные инструменты

Подрядчик должен поставить один полный комплект специальных инструментов, необходимых для монтажа и обслуживания крана, такелажа и аксессуаров.

Все специальные инструменты должны быть постоянно маркированы с указанием их конкретного назначения и поставлены в запираемых переносных металлических шкафах для инструментов.

7. СИСТЕМА ЗАЗЕМЛЕНИЯ

7.1. Общие положения

Данный раздел охватывает требования к системе заземления.

7.2. Характеристики сети низкого напряжения

- Система в соответствии с IEC 60364: TN.
- Нейтральный проводник: заземлен, но отделен от защитного проводника "PE".
- Защитный проводник "PE": должен быть включен в силовые и питающие кабели.
- Защита от поражения электрическим током в случае неисправности: путем автоматического отключения питания с помощью устройств защиты от перегрузки.

Импеданс контура замыкания, определяющий ток для автоматического срабатывания защитного устройства, должен быть:

$$\text{Где: } Z_s \leq V_o / I_a$$

V_o = напряжение между фазой и нейтралью;

I_a = ток, вызывающий срабатывание устройства максимальной токовой защиты в течение 5 с.

7.3. Критерии проектирования

Как правило, питающие кабели электрических устройств должны включать защитный проводник "PE", размеры которого обеспечивают срабатывание устройства защиты от перегрузки в течение времени, установленного стандартом.

Система заземления должна быть реализована для соединения всех электрических устройств, включая те, которые уже подключены через собственный проводник "PE", механические аппараты и все металлические конструкции.

Заземляющий электрод должен быть выполнен либо группой проводников, специально размещенных в контакте с землей, либо металлическими оболочками, которые, будучи заземленными непосредственно или через бетон, способствуют рассеиванию токов заземления и созданию эквипотенциальной системы.

В зависимости от характеристик объекта подрядчик должен организовать взаимосвязанную сборку вышеуказанных двух систем заземляющих электродов, чтобы гарантировать электрические характеристики системы заземления. Сопротивление рассеивания системы заземления не должно превышать 5 Ом.

Все частичные системы заземления, реализованные для каждого участка объекта (водозаборы, нижний водосброс, клапаны орошения, диспетчерская и т.д.), должны быть соединены в нескольких точках для создания единой системы заземления.

7.4. Конструктивные узлы

Система заземления должна состоять из заземляющей сетки, заземляющего проводника и естественного заземления, такого как металлические трубы, стальные конструкции и металлическая структура железобетона.

Заземляющая сетка должна быть изготовлена из неизолированных медных проводников с минимальным сечением 100 мм², уложенных в грунт на глубину примерно 80 см.

Заземляющая сетка будет дополнена медными стержнями с покрытием диаметром 19 мм и длиной 3 м, установленными вертикально в грунт по периметру сетки. Указанная система заземления будет подключена к заземляющему проводнику, проложенному на кабельных лотках или закрепленному на стене вдоль всех галерей. Во всех периферийных станциях, камерах затворов и клапанов заземляющий проводник, проложенный на кабельных лотках или закрепленный на стене, должен быть подключен к стальной арматуре бетона и, где это возможно, к стальной облицовке каналов или встроенным металлическим конструкциям, контактирующим со стальной облицовкой.

Сечение заземляющего проводника должно составлять не менее 100 мм².

Все металлические части электромеханического оборудования должны быть подключены к заземляющему проводнику с помощью проводника сечением не менее 50 мм².

Все заземляющие болты или шины электрического оборудования должны быть подключены к заземляющему проводнику.

Естественное заземление по возможности должно быть подключено к заземляющему проводнику.

Все заземляющие проводники должны быть многожильными медными. Соединения заземления должны выполняться либо экзотермической сваркой, либо соответствующим болтовым соединением. Соединения, которые недоступны, должны выполняться экзотермическим способом.

7.5. Защита от коррозии

Все подземные соединения и соединения, встроенные в бетон, должны быть защищены от коррозии. Электролитическая коррозия должна быть предотвращена путем выбора всех компонентов соединений, совместимых с медью.

7.6. Испытания

Подрядчик должен провести после завершения монтажа все необходимые испытания и измерения для проверки эффективности системы заземления.

Будет проведен осмотр заземления всего оборудования, всех металлических активных и пассивных масс и надежности всех соединений.

Для каждого отдельного нагрузочного элемента, распределительного устройства, щита и панели, а также для количества осветительных приборов не менее 10% от общего числа (по выбору представителя заказчика), будет проведена проверка координации защиты с измерением импеданса контура замыкания на землю.

Если значения, полученные в результате измерений, не соответствуют требованиям настоящей спецификации и стандартов, подрядчик должен внести соответствующие изменения в систему заземления, чтобы привести значения в допустимые пределы.

7.7. Запасные части и специальные инструменты

Изготовитель должен поставить рекомендованные им запасные части, которые он считает необходимыми для удовлетворительной эксплуатации и обслуживания оборудования в течение первых пяти лет работы.

Все запасные части должны быть взаимозаменяемыми, изготовленными из того же материала и с тем же качеством исполнения, что и соответствующие оригинальные части, и соответствовать тем же требованиям.

Подрядчик также должен поставить следующие запасные части, которые считаются минимальным требованием:

- 100 м медного проводника для каждого сечения;
- 10% каждого типа установленного аксессуара.

8. СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ И КОМПЛЕКТ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

8.1. Общие положения

Поставка должна включать следующее оборудование:

Одна (1) система измерения уровня воды и индикатор для уровня воды выше по течению;

Поставка также должна включать все запасные части и специальные инструменты, указанные здесь, все аксессуары и должна быть полностью укомплектована всеми преобразователями, необходимыми для дистанционной индикации, и всеми частями для встраивания, включая трубы.

8.2. Проектные данные

8.2.1. Система измерения уровня воды

Тип	Пьезорезистивный тип
Точность	$\pm 0,5\%$
Выходной сигнал	4-20 мА
Максимальный уровень воды	Примерно 1100 м над уровнем моря
Минимальный уровень воды	Примерно 1070 м над уровнем моря
Диапазон индикатора уровня воды	0-70 м с точностью не менее 0,1% = примерно 3 см

8.3. Критерии проектирования

Система измерения уровня воды должна использоваться для дистанционного считывания и записи уровня воды выше по течению.

Дистанционные индикаторы должны быть установлены в диспетчерские плотины.

Дистанционный индикатор уровня воды должен быть цифрового типа.

Система измерения уровня воды должна поставляться в комплекте с преобразователем и двумя регулируемыми концевыми выключателями для дистанционного сигнала тревоги.

Оборудование системы измерения уровня воды должно включать шкаф управления, в котором будет установлено все электрическое оборудование.

Питание каждого шкафа управления должно осуществляться от соответствующего распределительного щита.

Все оборудование должно быть стандартного типа от известных производителей.

Поставка также должна включать:

- Платы, на которых будет установлено все необходимое оборудование (клапаны, редуктор давления, манометр и дифференциальный манометр, переключатели давления, расходомеры и т.д.);
- Все трубы из нержавеющей стали в комплекте с ниппелями и концевыми насадками из нержавеющей стали;
- Шкафы управления, в которых будет установлено все электрическое оборудование;
- Контакты для дистанционной индикации «Высокий поток» и «отказ системы».

8.4. Испытания

8.4.1. Заводские испытания

Преобразователи, датчики, платы и шкафы должны быть проверены для подтверждения их правильной работы.

8.4.2. Полевые испытания

Испытания, которые должны быть выполнены, включают, но не ограничиваются следующим:

- Проверка чувствительности;
- Проверка правильной работы системы измерения уровня воды, включая проверку концевых выключателей и правильную калибровку измерительных устройств.

8.5. Покраска

Применяются положения Общих технических спецификаций.

8.6. Запасные части и специальные инструменты

8.6.1. Запасные части

Подрядчик должен поставить рекомендованные им запасные части, которые он считает необходимыми для удовлетворительной эксплуатации и обслуживания оборудования в течение первых пяти лет работы.

Все запасные части должны быть взаимозаменяемыми, изготовленными из того же материала и с тем же качеством исполнения, что и соответствующие оригинальные части, и соответствовать тем же требованиям.

Подрядчик также должен поставить следующие запасные части, которые считаются минимальным требованием:

- Один (1) датчик каждого типа;
- Двадцать процентов (20%) контакторов, автоматических выключателей, кнопок и реле каждого используемого типа (с минимумом один).

8.6.2. Специальные инструменты

Подрядчик должен поставить один полный комплект специальных инструментов, необходимых для монтажа и обслуживания оборудования.