

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

## ФАЗА II: ВАРИАНТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОЕКТА

### Том 3: Проектирование и расчет

#### Глава 3: Варианты проекта

Август, 2014 г

Отчет № P002378 RP56 Ред.В

В	06/08/2014	Пересмотрено, согласно комментариям ВБ и панели экспертов	LCO	LCO/VLI	LBO
Б	31/03/2014	Финальное издание	LCO/OCL	NSA	NSA
А	16/07/2013	Первое издание	OCL/LCO	NSA	NSA
<b>Редакция</b>	<b>Дата</b>	<b>Тема редакции</b>	<b>Подготовлено</b>	<b>Проверено</b>	<b>Одобрено</b>

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1</b>	<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ОСОБЕННОСТИ СТРОЙПЛОЩАДКИ</b>	<b>6</b>
2.1	<i>Расположение внутри регионального геологического строения</i>	6
2.2	<i>Природа пород основания плотины</i>	7
2.3	<i>Каменная соль Йонахисского разлома</i>	7
2.4	<i>Геоморфологические особенности стройплощадки плотины</i>	8
2.4.1	Общий вид	8
2.4.2	“Зона нарушений” на правом берегу	8
2.4.3	Сели	9
<b>3</b>	<b>ПЛОТИНА</b>	<b>10</b>
3.1	<i>Проект плотины ИГП</i>	10
3.1.1	Описание	10
3.1.1.1	Проект	10
3.1.1.2	Вычисление прочности плотины	12
3.1.1.3	Материалы плотины	13
3.1.1.4	Обработка подошвы	14
3.1.2	Комментарии	14
3.1.2.1	Проект	14
3.1.2.2	Вычисление прочности плотины	18
3.1.2.3	Материал плотины	18
3.2	<i>Предлагаемый проект</i>	18
3.3	<i>Этапы плотины</i>	22
3.3.1	Предварительная перемычка и перемычка	22
3.3.2	Плотина первой очереди	23
3.3.2.1	Введение	23
3.3.2.2	Описание вариантов первой очереди	24
3.3.2.3	График выполнения работ	29
3.3.2.4	Выработка электроэнергии	31
3.3.2.5	Выводы	32
3.4	<i>Материал плотины</i>	33
3.5	<i>Обработка основания</i>	34
3.6	<i>Обработка соляного пласта и влияние на плотину</i>	37
3.6.1	Описание	37
3.6.2	Меры по смягчению последствий	37
3.7	<i>Оснащение плотины приборами и аппаратурой</i>	38
<b>4</b>	<b>Отвод реки</b>	<b>40</b>
4.1	<i>Специфические критерии проектирования</i>	40
4.1.1	Расчетный паводок	40
4.1.2	Критерии по сооружениям	41
4.1.3	Другое	43
4.2	<i>Схема ИГП по перекрытию реки</i>	44
4.2.1	Описание	44
4.2.2	Оценка	44
4.3	<i>Управление отводом реки</i>	45
4.3.1	Перемычка	45
4.3.2	Первая очередь	46

4.3.3	Завершение основной плотины	47
4.4	<i>СТ1 и СТ2</i>	51
4.5	<i>Строительный тоннель №3</i>	54
4.6	<i>ВССУ №1 и ВССУ №2</i>	56
4.6.1	Водобросное сооружение среднего уровня №1	56
4.6.2	Водобросное сооружение среднего уровня №2	59
<b>5</b>	<b>Водосливные сооружения</b>	<b>60</b>
5.1	<i>Специфические критерии проектирования</i>	60
5.2	<i>Водобросные сооружения ИГП</i>	62
5.2.1	Описания	62
5.2.2	Оценка	62
5.3	<i>Управление паводками</i>	62
5.3.1	Доступные водобросные сооружения в конце строительства	62
5.3.2	Возможные типы водобросных сооружений	63
5.3.3	Анализ различных вариантов управления паводками	63
5.3.4	Выводы и рекомендации	63
5.4	<i>Тоннельные водобросные сооружения</i>	64
5.5	<i>Поверхностный водоброс</i>	66
5.5.1	Критерии проектирования	66
5.5.2	Описание	66
5.6	<i>Согласованность с низовым каскадом</i>	69
5.7	<i>Сработка водохранилища</i>	70
<b>6</b>	<b>Многоуровневые водоприемники</b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b>Машинный зал</b>	<b>74</b>
<b>8</b>	<b>Электромеханическое оборудование</b>	<b>76</b>
<b>9</b>	<b>Основные данные каждого варианта</b>	<b>80</b>
9.1	<i>Плотина</i>	80
9.2	<i>Сооружения для отвода реки</i>	82
9.3	<i>Водобросные сооружения</i>	84
9.3.1	Водобросное сооружение среднего уровня	84
9.3.2	Тоннели верхнего уровня	85
9.3.3	Промывной тоннель	86
9.3.4	Поверхностный водоброс	87
9.4	<i>Машинный зал и электромеханическое оборудование</i>	88
	<b>Приложение 1: Оценка строительного материала</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение 2: анализ устойчивости плотины</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение 3: управление паводками во время строительства</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение 4: Гидравлические характеристики компонентов проекта</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение 5: Управление МВП (PMF)</b>	<b>90</b>
	<b>Приложение 6: Записка по надводному борту</b>	<b>90</b>

## РИСУНКИ

Рис. 2-1: Определение основных тектонических особенностей на стройплощадке плотины. ....	7
Рис. 2-2: Вид узкого ущелья реки Вахш на стройплощадке плотины. ....	8
Рис. 2-3: трехмерный вид стройплощадки плотины (узкое ущелье реки на правой стороне схемы), и “зона нарушений” на правом берегу с приблизительными границами (из бесплатного ПО Google).....	9
Рис. 3-1: План плотины – источник ИГП .....	10
Рис. 3-2: Типовое поперечное сечение плотины - ИГП 2010.....	11
Рис. 3-3: Типовое поперечное сечение (выдержка из «Трехмерного моделирования прочности плотины», ИГП, 2009).....	11
Рис. 3-4: Источник материалов. Определение количеств. ....	14
Рис. 3-5: Выемка в зоне центрального ядра .....	15
Рис. 3-6: Осадка.....	17
Рис. 3-7: Поперечное сечение плотины. Вариант НПУ=1290м .....	21
Рис. 3-8: Йонахшский разлом и плотина первой очереди. ....	24
Рис. 3-9: Трехмерное представление обоих вариантов - НПУ = 1220 м (низовой вид).....	26
Рис. 3-10: Вид сверху обоих вариантов - НПУ = 1220 м .....	26
Рис. 3-11: Поперечное сечение обоих вариантов - НПУ = 1220 м .....	27
Рис. 3-12: Трехмерное представление обоих вариантов - НПУ = 1255 м (низовой вид).....	28
Рис. 3-13: Вид сверху обоих вариантов - НПУ = 1255 м .....	28
Рис. 3-14: Поперечное сечение обоих вариантов - НПУ = 1255 м .....	29
Рис. 3-15: Сравнение роста плотины со временем - НПУ = 1220 м .....	30
Рис. 3-16: Сравнение роста плотины со временем - НПУ = 1255 м .....	31
Рис. 4-1: Ситуация с критерием максимального напора среди существующих примеров .....	42
Рис. 4-2: Рис. – Отводящие и водосбросные сооружения – схема ИГП .....	45
Рис. 4-3 : НПУ = 1290 н.м.у.м. – Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений.....	48
Рис. 4-4 : НПУ = 1290 м.н.у.м. – Рис. отвода по времени .....	49
Рис. 4-5 : НПУ = 1255 м.н.у.м. - Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений.....	49
Рис. 4-6 : НПУ = 1255 м.н.у.м. - Рис. отвода по времени.....	50
Рис. 4-7 : НПУ = 1220 м.н.у.м. - Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений.....	50
Рис. 4-8 : НПУ = 1220 м.н.у.м. - Рис. отвода по времени.....	51
Рис. 5-1: Рис. поверхностного водосброса .....	67

Рис. 5-2: Продольное сечение ступенчатого водосброса .....	68
Рис. 5-3: Поперечное сечение ступенчатого водосброса.....	68

## ТАБЛИЦЫ

Таблица 3-1: Количество материалов. ИГП, Проект 2010.....	13
Таблица 3-2: Комбинации запаса гребня.....	19
Таблица 3-3: Подтверждение запаса гребня .....	20
Таблица 3.4: Объем окончательной плотины с НПУ 1220 м.....	27
Таблица 3.5: Объем окончательной плотины с НПУ 1255 м.....	29
Таблица 3-6: Количество материалов на месте [м <sup>3</sup> ], ТЭО. ....	33
Таблица 3-7: Объем проходки породы .....	36
Таблица 4-1: Расчетный паводок – вероятность возникновения и повторяемость.....	40
Таблица 4-2 : Объем водохранилища и последствия .....	41
Таблица 5-1 : Пиковый и дневной максимальный расход.....	61
Таблица 5-2 : Конфигурация водосбросов – вариант "защиты низового каскада " .....	70

## 1 ВВЕДЕНИЕ

Данная глава включает описание и обоснование проекта, предложенное Консультантом для 9 вариантов проекта Рогун, на основе оценки ИГП 2009 года.

Несколько приложений прилагаются к данному отчету для детальной разработки подхода проектирования, которому следовал Консультант ТЭО в своем выборе вариантов.

## 2 ОСОБЕННОСТИ СТРОЙПЛОЩАДКИ

### 2.1 Расположение внутри регионального геологического строения

Стройплощадка Рогунской плотины расположена в центральном горном регионе Таджикистана, где преимущественно находятся высокие горные хребты, и происходит интенсивное смещение осадочной толщи без разрыва сплошности под высоким тектоническим напряжением. Зона является тектонически активной, с основными активными разломами, расположенными в непосредственной близости от стройплощадки (региональный Гиссаро-Кокшалский и Ильяк-Вахшский разлом, а также относительно меньших размеров Йонахшский и Гулизиндан).

Сама стройплощадка плотины может быть грубо разделена на три части:

- Участок, расположенный к северу от Йонахшского разлома, где движение вдоль этой основной тектонической особенности образовало асимметричную синклиналь (синклиналь Кирбич)
- Тектонический покров, ограниченный с севера Йонахшским разломом и Разломом 35 с юга, где будут расположены основные сооружения ГЭС; залегание пород имеет такой же характер как у Йонахшского разлома, круто понижаясь на юг-юго-восток
- Участок, расположенный ниже разлома № 35

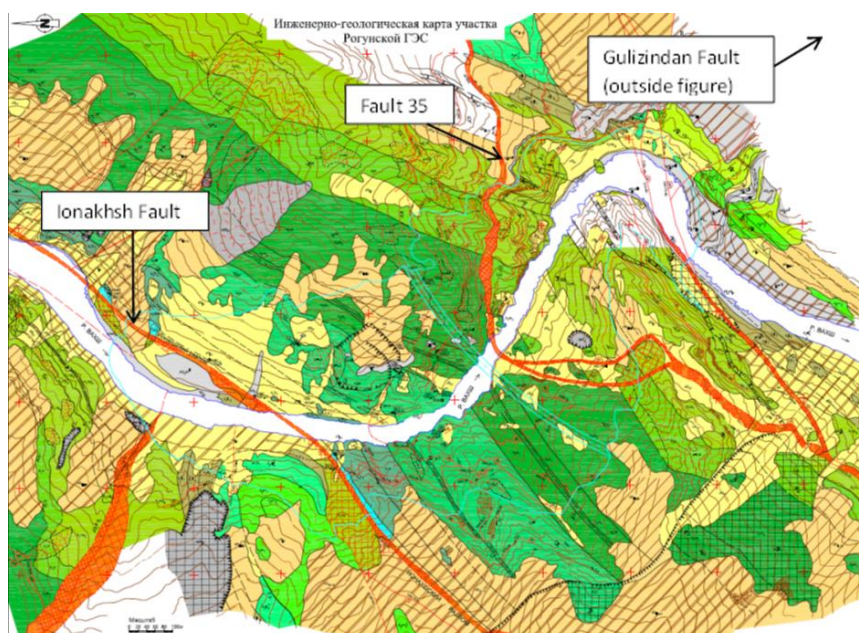


Рис. 2-1: Определение основных тектонических особенностей на стройплощадке плотины.

## 2.2 Природа пород основания плотины

Относительно природы пород основания, осадочная толща стройплощадки плотины в основном состоит из чередования менее прочного аргиллита и алевролита с более прочным песчаником и нередко представленным гипсом. Более ранние образования верхнемелового периода и палеогена дополнительно представляют слои известняка, сланца или мела.

Распределение скальных пород следующее:

- Геологические образования от Юрского (Гаурдак) до Мингбатмана составляют основание проектируемой плотины, на юго-восточной стороне Йонахшского разлома,
- Образование Мингбатман и более раннее представлены в северно-восточной стороне Йонахшского разлома, а также далее на юго-востоке, за пределами стройплощадки плотины в «зоне нарушений».

## 2.3 Каменная соль Йонахшского разлома

Каменная соль, относящаяся к образованию Юрского Гаурдак, представлена вдоль двух основных тектонических разломов (Йонахшский и Гулизиндан), также как и диапиры вдоль Ильяк-Вахшского разлома, выше по течению от створа плотины.

Так как Йонахшский разлом будет расположен ниже плотины первой очереди (отметка 1140), и следовательно под верховой призмой основной плотины, много исследований было посвящено изучению геометрии соляного пласта.

Геотехнические вопросы, связанные с присутствием соляного пласта в Йонахшском разломе и оценка и последствия возможного растворения являются целью исследования в отчете нулевой фазы.

## 2.4 Геоморфологические особенности стройплощадки плотины

### 2.4.1 Общий вид

На створе плотины, река Вахш делает крутой поворот с северо-востока на юго-запад параллельно региональной литологии, затем поворачивает с северо-запада на юго-восток вокруг упорной призмы предполагаемой плотины первой очереди, где она течет перпендикулярно наслоению залегающих горных пород. В конце она поворачивает с северо-востока на юго-запад к упорной призме основной Рогунской плотины.

Узкое ущелье на стройплощадке плотины имеет V-образную форму, с крутыми крыльями наклона от 40 до 60 градусов, с локально крутыми скалами вдоль течения реки, особенно в образованиях песчаника. Рис. 2-2 дает хорошее представление о топографических особенностях стройплощадки.



Рис. 2-2: Вид узкого ущелья реки Вахш на стройплощадке плотины.

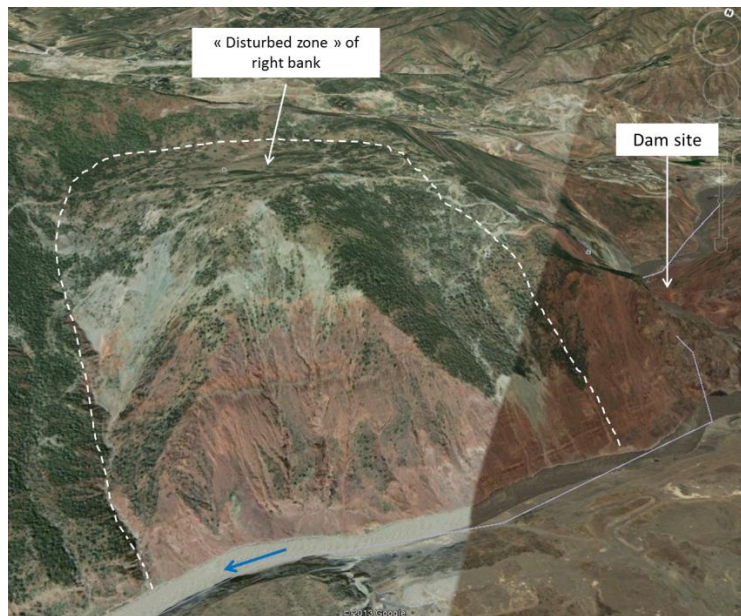
Что касается геодинамических явлений, на и вокруг стройплощадки регулярно происходят камнепады, обвалы и оползни.

Камнепады случаются часто, особенно во время дождей, из-за крутости склонов и дифференцированной эрозией между наслоениями алевролитов и песчаников.

### 2.4.2 “Зона нарушений” на правом берегу

Правый берег реки Вахш охарактеризован своеобразным морфологическим образованием, поскольку оно представляет большое и относительно плоское плато на отметке 1700-1750. Это очень своеобразное образование видно на Рис. 2-3.





**Рис. 2-3: трехмерный вид стройплощадки плотины (узкое ущелье реки на правой стороне схемы), и “зона нарушений” на правом берегу с приблизительными границами (из бесплатного ПО Google)**

Данное образование детально описано в главе 2 (Геология настоящего отчета; Том 2 Основные данные).

Однако следует отметить присутствие больших потенциально нестабильных масс в передней части образования, в основании которого накапливается большое количество наносов, вызываемых обрыванием склонов. Русло реки Вахш было сдвинуто с правого берега от 70 до 90 м по этой причине в период 1978-2005 годов.

### **2.4.3 Сели**

Ввиду высокой тектонической активности и быстрого подъема рельефа местности вдоль тектонических структур, а иногда также из-за присутствия растворимой породы (гипс, соль), неустойчивость склонов является обычным явлением в водосборных бассейнах различных притоков реки Вахш.

Особенно, сели текущие от реки Оби-Шур, которая входит в реку Вахш на левом берегу сразу ниже стройплощадки плотины, уже доказали, что представляют риски для ГЭС. Сели реки Оби-Шур – приведшие в результате к прорыву верхней перемычки в ночь с 8 на 9 мая 1993 года – временно перегородили реку Вахш, вследствие чего были затоплены основные подземные сооружения и выработки машинного зала и трансформаторного помещения (все работы были приостановлены в предыдущем году).

### 3 ПЛОТИНА

#### 3.1 Проект плотины ИГП

##### 3.1.1 Описание

###### 3.1.1.1 Проект

Рогунская плотина, спроектированная ИГП (2009), состоит из насыпной плотины 335 м высотой над отметкой подошвы. Общий объем насыпного грунта составляет 71.7 миллионов м<sup>3</sup>, 7.2 миллионов м<sup>3</sup> которого являются водонепроницаемым ядром. Выемка и проходка, в общем, составит объем 4.6 миллионов м<sup>3</sup>.

Общий план вида плотины приведен ниже.

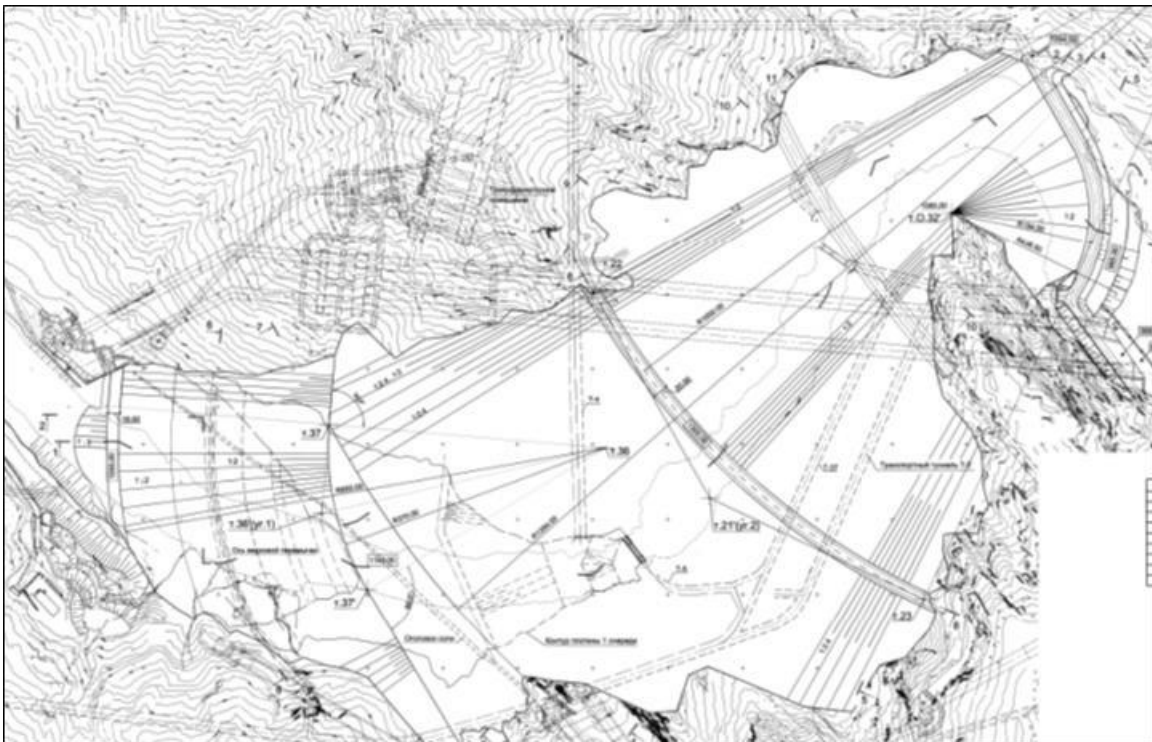


Рис. 3-1: План плотины – источник ИГП

Ось плотины имеет форму круга радиусом 1000 м. Уровень гребня 1300м, а НПУ 1290м. Ширина гребня 20м, а его длина 625м.

Уклон низового откоса составляет 2H/1V. Выше отметки 1140м, уклон верхового откоса составляет 2.4H/1V, а ниже 1140м уклон верхового откоса составляет 2H/1V. В верховой призме имеется большая рисберма (от 0м на левом берегу до 120м на правом берегу) на отметке 1140м.

Зонирование материала внутри плотины отличается от одной схемы к другой, ниже приведены два типовых поперечных сечения, найденные Консультантом.

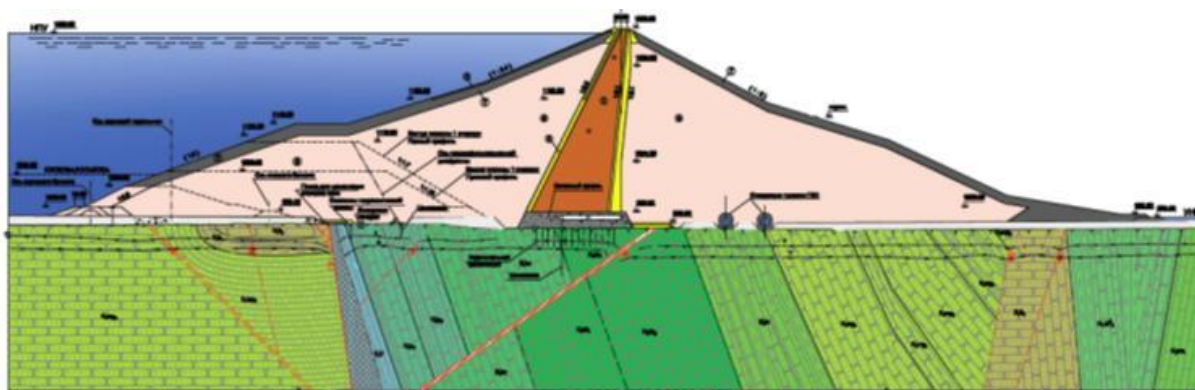


Рис. 3-2: Типовое поперечное сечение плотины - ИГП 2010

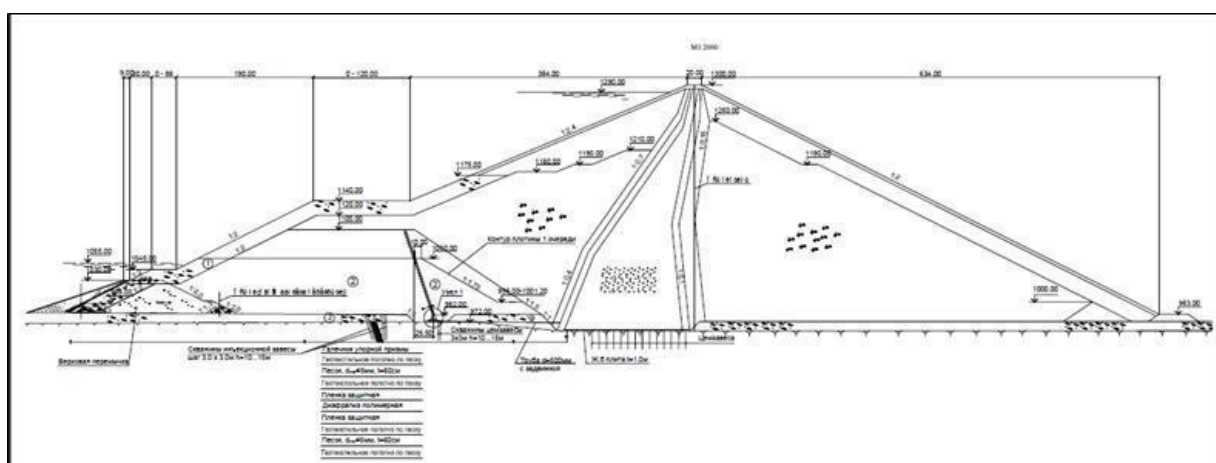


Рис. 3-3: Типовое поперечное сечение (выдержка из «Трехмерного моделирования прочности плотины», ИГП, 2009)

На Рис. 3-2, толщина водонепроницаемого ядра меняется от 8 м на уровне гребня до около 140 м на уровне подошвы. Гидравлический градиент сквозь ядро менее 2,5 на всем протяжении. На Рис. 3-3, верховая часть ядра тоньше: под напором воды в 60м толщина ядра только 10м.

Разбивка ядра была спроектирована так, чтобы избежать разлома №35, находящегося в низине около 30м ниже подошвы ядра.

В ядре на двух разных отметках от одного берега к другому проложены 2 галереи.

Ядро лежит на толстой бетонной плите, которая заполняет низину и создает большую платформу.

Зоны крупнодисперсного и мелкодисперсного фильтра граничат с обоими откосами ядра. На Рис. 3-2, верховая ширина крупнодисперсного и мелкодисперсного фильтра 4м. Низовая ширина мелкодисперсного фильтра также 4м, а крупнодисперсного фильтра 10м. На Рис. 3-3, ширина слоев всех фильтров выглядит на 10 м.

Фильтрующий подстилающий слой расположен ниже ядра таким образом, чтобы покрыть возникающий разлом №35.

Упорная призма плотины и призма насыпаны из случайного крупнозернистого аллювия, который в больших количествах находится в зоне затопления водохранилища. Общий объем случайной насыпи приблизительно оценивается в 57.4 миллионов м<sup>3</sup>.

Верховая и низовая призма защищены слоем каменной наброски толщиной 20 м. На Рис. 3-3, данный слой каменной наброски утолщается, и выше отметки 1210 м верховая призма состоит только из каменной наброски.

Противофильтрационная завеса около 100 м глубиной находится в подошве, удлиняя линию водонепроницаемого ядра вдоль берегов. Устройство противофильтрационной завесы будет выполнено из галерей, пройденных в берегах на расположенных с равными интервалами уровнях через всю высоту плотины (6 разных уровней).

Плотина первой очереди вделана в верховую призму основной плотины. Ее верховой откос одинаков с верховым откосом основной плотины. Уклон низового откоса плотины первой очереди составляет 1.7H:1V. Ее водонепроницаемым компонентом является противофильтрационная мембрана.

#### 3.1.1.2 Вычисление прочности плотины

Приложение 1 представляет полный анализ прочности плотины. Первый параграф представляет документы ИГП предоставленные Консультанту по этой теме и их оценку. Основные элементы резюмированы здесь.

Доступные документы включают: устойчивость откосов плотины, вычисление двухмерной статичной и динамичной модели конечных элементов, и вычисление трехмерной статичной и динамичной модели конечных элементов

Анализ устойчивости склонов приводит к выводу, что плотина соответствует требуемым коэффициентам прочности. Он также демонстрирует, что низовой откос плотины первой очереди не должен быть меньше 1.68H/1V, чтобы удовлетворять критериям устойчивости. Также был выполнен псевдо статический расчет.

Двухмерные анализы конечных элементов были разработаны для оценки порядка величины смещений и напряжений в сооружении во время условий строительства и эксплуатации и для оценки динамических характеристик плотины.

Строительство плотины было смоделировано активацией горизонтальных слоев. Максимальная осадка была оценена в 5.6 м в ядре плотины между уровнями 1050 и 1070 м. Максимальное вертикальное напряжение достигает 1117 т/м<sup>2</sup> около верховой подошвы ядра.

Двухмерная динамичная модель конечных элементов оценила период типового поперечного сечения: 3с. Динамичный анализ состоял из 10 анализов акселерограмм (временных диаграмм), то есть ускорение при основании модели задается по сигналу. Все записи ускорений имели пиковое ускорение в 5.4 м/с<sup>2</sup>, то есть 0.55 g. Остаточные смещения, порожденные 10 случаями, были меньше 60 см, как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении.

Трехмерная модель конечных элементов была разработана, следуя похожей процедуре для двухмерной модели. Строительство плотины было смоделировано активацией горизонтальных слоев. Максимальная осадка была оценена в 4.4 м, против

5.6 м для двухмерной модели. Максимальное вертикальное напряжение достигает 978 т/м<sup>2</sup>, против 1117 т/м<sup>2</sup> для двухмерной модели.

Для трехмерной модели собственный период колебаний был оценен в 2с (против 3с для двухмерного анализа). В модели применялось только самое критичное землетрясение. Как в предыдущем двухмерном случае пиковое ускорение составило 5.4 м/с<sup>2</sup>, то есть 0.55 g. Пиковое ускорение на гребне, вызванное землетрясением, было оценено в 8.2 м/с<sup>2</sup>, то есть 0.84 g.

### 3.1.1.3 Материалы плотины

Количества, определенные проектом ИГП, 2010 приведены в таблице ниже:

**Таблица 3-1: Количество материалов. ИГП, Проект 2010**

Часть плотины	Характерный размер	Количество
[-]	[мм]	[м <sup>3</sup> ]
Ядро	-	7 247 000
1-ый переходный слой	0 – 10	4 893 000
2-ой переходный слой	0 – 40	
Напорный нижний переходный слой	0 - 80	
Аллювиальная упорная призма	≤700	39 567 000
Каменная призма	≤700	17 753 000
Каменная пригрузка	300 – 1000	1 497 000
Бетонная плита	-	481 000
<b>ВСЕГО</b>		<b>71 438 000</b>

Следующая таблица резюмирует количества материалов для укладки в плотину.

Источник (Карьер)	Общий первоначальный объем	Извлеченный объем	Складированный объем	Оставшийся объем	Подходящее количество для плотин (аллювиальная упорная призма, ядро, каменная пригрузка)	Необходимый объем для плотины	Подходящий объем для заполнителей бетона
	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]	[млн. м <sup>3</sup> ]
Карьер №15	75.6	26.6	22.1	49	64.7	Аллювиальная упорная призма: 43,0	Подходящее для бетонного заполнителя после обработки

Лабидора	6.6	4.0	4.0	1.0	5.0	Переходной участок : 5,6	-
Карьер №17	17	2.5	2.5	14.5	17.0	Ядро: 6,9	-
Карьеры №26 А и 26Б	5.2	0.8	0.8	22.4	23.2	Каменная призма: 17,3 / каменная пригрузка : 0,6	-
	18						

**Рис. 3-4: Источник материалов. Определение количеств.**

#### 3.1.1.4 Обработка подошвы

Обработка подошвы, предложенная ИГП, описана ниже для каждой фазы строительства: предварительная перемычка, перемычка, плотина первой очереди и основная плотина.

Для предварительной перемычки не предусмотрена никакая обработка подошвы.

Для перемычки, для обеспечения безопасности в зоне работ будут устранены только неустойчивость берегов и нависающие скалы. Аллювий русла останется на месте, но будет проведена струйная цементация для его водонепроницаемости.

Для плотины первой очереди, водонепроницаемая мембрана, предлагаемая ИГП, заанкерованна в бетонную плиту. Под плитой, водонепроницаемая завеса глубиной 30м достигает третьей зоны, и предполагается укрепление грунта путем цементации глубиной 6м. Основание бетонной плиты (шириной 10 м) очищается, пустоты и трещины заполняются бетоном, и устраняется неустойчивость пород, но выемка породы не предполагается. Под призмами плотины первой очереди, аллювий русла реки остается на месте.

Для ядра окончательной плотины, извлекается аллювий русла реки, а также слой слабой породы (зона I) и заполняется бетоном. Консультант не располагает информацией по выемке, предусмотренной ИГП в зоне ядра: в графике строительных работ указан объем работ в 1.6 миллионов м<sup>3</sup>, но не приведено ни одного чертежа для объяснения местоположения и геометрии такого объема.

Для окончательной плотины предполагается противофильтрационная завеса и цементация ниже ядра плотины. Противофильтрационная завеса должна достигать Зоны IV (неповрежденная порода), то есть глубины 60-100 м.

В проекте 1978 года под ядром плотины также предполагалась дренажная завеса.

### 3.1.2 Комментарии

#### 3.1.2.1 Проект

В качестве общего замечания, проект выглядит соблюдающим правила безопасности для проекта, который должен установить мировой рекорд.

Однако, следует заметить что:

- Консультант не нашел информации или чертежей по работам по выемке для основания ядра. Разработка грунта, влекущая за собой выравнивание местной топографии, весьма существенна (см. Рис. 3-5). Такая тонкая регулировка выемки необходима для того, чтобы ограничить неравномерную осадку грунта и распределение внутреннего напряжения, и избежать любых рисков по гидравлическому разрыву сквозь ядро. Это было включено в проекте ТЭО.



**Рис. 3-5: Выемка в зоне центрального ядра**

- Две инспекционные галереи, пересекающие водонепроницаемое ядро от берега до берега и расширяющиеся в основании плотины, спроектированы на отметках 1120 и 1240. Создание таких галерей не является обычной практикой. Существование жестких элементов (бетонных галерей) внутри деформируемой пластической среды (материал ядра) может привести к перераспределению напряжений внутри ядра с риском гидравлического разрыва. Внутренние деформации ядра могут быть значительны во время этапа строительства (рассчитанная осадка порядка 3 м) или во время эксплуатации под сейсмической нагрузкой (рассчитанная осадка порядка 0.5 м). Подобные деформации не совместимы с существованием жестких сооружений в ядре.
- Водонепроницаемая мембрана первой очереди не приемлема. По нашим данным, установка является мировой «премьерой» для сооружений подобных размеров. Водонепроницаемые мембраны обычно используются для ремонтных работ существующих сооружений, особенно бетонных. В таких случаях, мембраны применяются в напорных гранях бетонных работ, чтобы заменить отказавшую оригинальную водонепроницаемость.

Использование подобных мембран в насыпных плотинах, которые могут деформироваться и давать значительную осадку во время строительства,

не является общепринятой практикой. Некоторые существующие примеры относятся к перемычкам, то есть временным сооружениям при условиях полного давления, ограниченные по времени продолжительностью паводков. В наших записях нет ни одной ссылки на плотину выше 100 м, в которой в качестве внутренней водонепроницаемой среды является мембрана.

Использование водонепроницаемой мембраны влечет за собой более деликатные контактные проблемы с основанием. Примененное в Рогуне сооружение состоит из бетонной плиты заанкерированной в скале: мембрана зафиксирована в бетоне металлическими профилями: подобная система создает жесткое звено между мембраной и плитой (см. рисунок ниже).



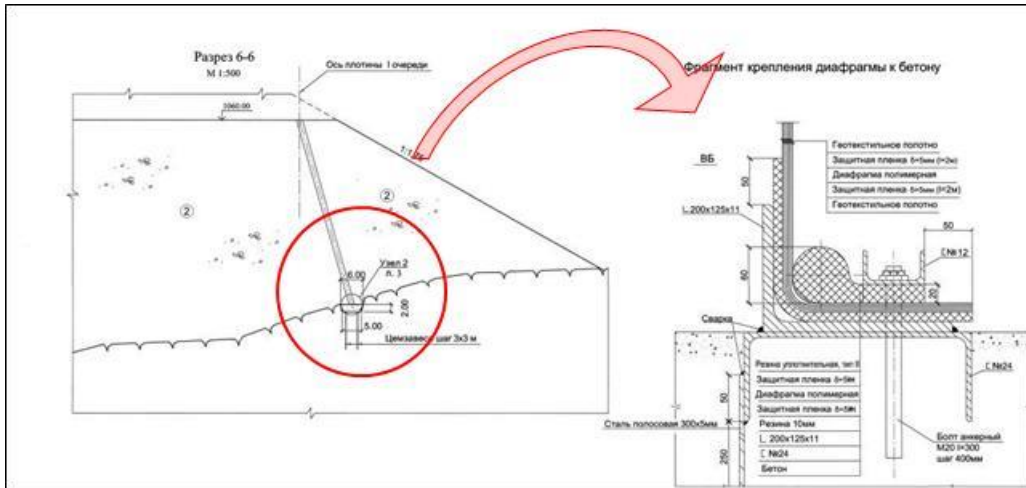


Рис. 6.7.2 – Внутренняя водонепроницаемая мембрана - Детали

Во время строительства упорная призма и призмы плотины проходят осадку от нагрузки укладываемого материала. Ввиду особенной топографии стройплощадки и крутых природных склонов, подобная осадка будет сосредотачиваться близко к берегам и неравномерности будут значительны в месте контакта с бетонной плитой (см. схему ниже). Данное явление влечет большой риск разрыва мембраны вдоль опор берегов, с потенциальной утечкой сквозь призму и упорную призму, прямым последствием чего является внутриводонепроницаемая эрозия.

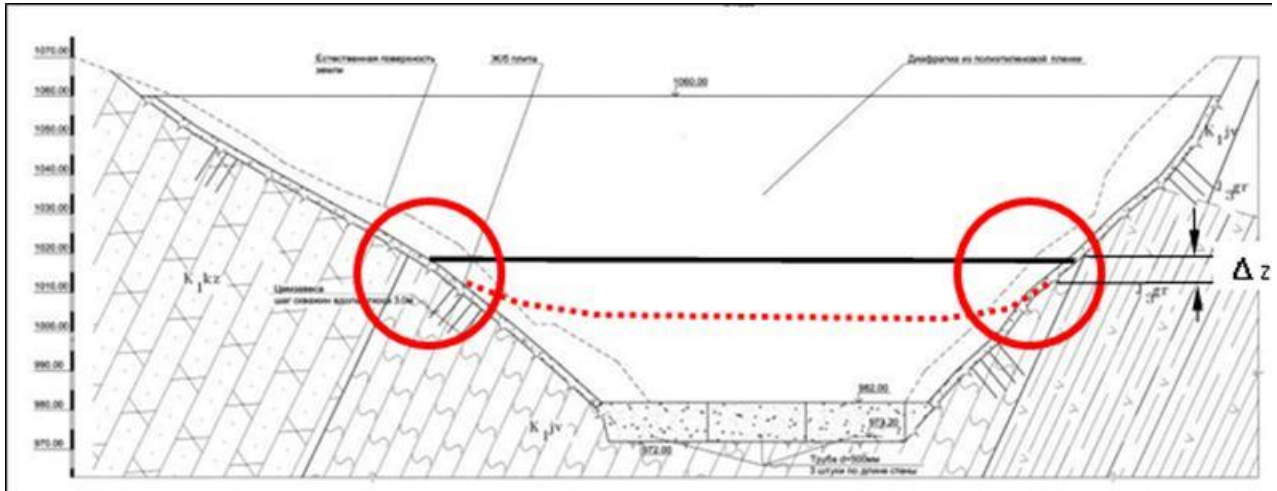


Рис. 3-6: Осадка

- Консультанту не была предоставлена информация об устанавливаемой на окончательной плотине системе мониторинга. Система мониторинга (количество, расположение и вид инструментов) является одним из наиболее важных элементов в эксплуатации плотины; она является единственным способом отслеживания поведения плотины после завершения работ, таким образом, являясь абсолютно необходимой. Это было включено в предложенные варианты ИТЭО.

### 3.1.2.2 Вычисление прочности плотины

В общих чертах, для реальной оценки существующих исследований устойчивости не было предоставлено достаточно информации.

Тем не менее, можно отметить, что постоянные смещения плотины, найденные в двухмерном анализе конечных элементов очень малы (менее 1 м), что нереально учитывая размер сооружения и интенсивность землетрясений.

### 3.1.2.3 Материал плотины

Следующая таблица резюмирует корректирующие действия, которые необходимо выполнить для того, чтобы данные материалы удовлетворяли техническим характеристикам. Также предоставлен список предметов, требующих дальнейшего исследования.

Источник (Карьер/Карьерная зона)	Обработка для доведения соответствия спецификациям
Карьерная зона 15	Удаление материалов > 700 мм, что составляет около 2-3% (для аллювиальных упорных призм)
Лабидора	Удаление булыжников > 100 мм, что составляет около 13 - 16 % (для переходных слоев)
Карьерная зона 17	Уменьшение влажных материалов до 10-12 %. Удаление материалов > 200 мм. Увеличение мелкозернистого материала (*)
Q 26 А и В	Физические и механические характеристики должны быть протестированы и точно определены.

## 3.2 Предлагаемый проект

Проект основной плотины, предлагаемый Консультантом, представлен на чертежах №40-101, 102, 201, 202, 301, 302. Он основан на проекте ИГП и адаптирован согласно оценке Консультанта.

Стройплощадка Рогуна очень узкая и на план плотины определяется многими ограничениями:

- Водоприемники существующих строительных тоннелей: напорная призма плотины должна быть установлена ниже этих водоприемников.

- Йонахшский разлом: противофильтрационная диафрагма основной плотины или плотины первой степени не должна пересекать Йонахшский разлом, и должна быть установлена ниже него. Это делается для того, чтобы ограничить давление на трещины Йонахшского разлома, что увеличивает растворение соли.
- Разлом 35: ядро основной плотины не должно пересекать этот разлом, чтобы избежать неравномерного смещения и сдвигов внутри ядра.

Таким образом, Консультант не изменил ось плотины и оставил ее, как планировалось ИГП, для всех трех вариантов плотины. Немного искривленная ось также была оставлена, как проектировалось ИГП.

Для каждого варианта, гребень плотины устанавливается на 10 м выше НПУ, а гребень ядра устанавливается на 3.75 м ниже гребня. Эти 3.75 м являются результатом геометрического строительства, которое должно обеспечить:

- Защиту ядра от погодных условий (просачивания снега и дождя);
- Достаточная толщина слоя для упрощения строительства и укладки материалов;
- Симметрию гребня плотины для упрощения проектирования и строительства камеры.

Требования по запасу гребня для отметок гребня и ядра должны рассматривать высоту паводков, паводки ледниковых озер, волны и землетрясения. Детали рассматриваемых комбинаций явлений приведены в следующей таблице.

	<b>Высокие паводки</b>	<b>Паводки ледниковых озер</b>	<b>Волны от ветра</b>	<b>Землетрясение</b>
1.	МВП	нет	нет	нет
2.	Паводок с возвратным периодом в 10,000 лет	нет	да	нет
3.	нет	нет	нет	Максимально достоверное землетрясение
4.	нет	да	нет	нет

**Таблица 3-2: Комбинации запаса гребня**

Приложение 6 представляет детальную оценку запаса гребня от волн. Следующая таблица резюмирует подтверждение отметок гребня ядра и гребня плотины относительно запаса гребня. Она показывает, что предлагаемый проект удовлетворяет всем требованиям.

Согласно варианту 1290 и 1255, гребень плотины расположен на 10 м выше НПУ, в то время как ядро гребня расположено на 3.75 м ниже гребня.

Согласно варианту 1220, гребень плотины расположен на 11.5 м (=10 + 1.5 м согласно выводам по МВП) выше НПУ, в то время как ядро гребня расположено на 3.75 м ниже гребня.

Согласно варианту НПУ 1255 м.н.у.м. – 2, отметка воды выше, чем определенный критерий (1265 – 3.75 = 1261.25 м.н.у.м.) Однако, эта ситуация (75 см выше гребня, 1262 м.н.у.м. – 1261.25 м.н.у.м. = 75 см) может временно находиться под контролем.

Согласно сценарию с НПУ 1220 – 1 отметка воды выше, чем определено критерием (=1230-3.75=1226.25 м). Тем не менее, данная ситуация (14 см над гребнем, 1227.9 – 1227.75 м.н.у.м. = 14 см) может временно находиться под контролем.

Вариант плотины	Комбинации	Высокие паводки (макс отметка воды, м)	Паводки ледниковых озер (запас гребня, м)	Минимальный гребень ядра (м)	Волны от ветра (запас гребня, м)	Землетрясение (мера предосторожности по осадке плотины во время землетрясения, м)	Минимальный гребень плотины (м)
НПУ=1290 м	1.	1291.9	0	<b>1291.9</b>	0	0	<b>1291.9</b>
	2.	1278.9	0	<b>1278.9</b>	1.88	0	<b>1280.78</b>
	3.	0	0	<b>1290</b>	0	8	<b>1298</b>
	4.	0	2.8	<b>1292.8</b>	0	0	<b>1292.8</b>
НПУ =1255 м	1.	1262.0	0	<b>1262.0</b>	0	0	<b>1262.0</b>
	2.	1232.5	0	<b>1232.5</b>	1.87	0	<b>1234.37</b>
	3.	0	0	<b>1255</b>	0	8	<b>1263</b>
	4.	0	4	<b>1259</b>	0	0	<b>1259</b>
НПУ =1220 м	1.	1226.4	0	<b>1226.4</b>	0	0	<b>1226.4</b>
	2.	1227.9	0	<b>1227.9</b>	1.85	0	<b>1229.75</b>
	3.	0	0	<b>1220</b>	0	8	<b>1228</b>
	4.	0	6	<b>1226</b>	0	0	<b>1226</b>

Таблица 3-3: Подтверждение запаса гребня

Верховые и низовые откосы основной плотины оставлены, как запроектировано ИГП для трех вариантов плотины (2Н/1V низовой, 2.4Н/1V верховой выше 1140 м и 2Н/1V верховой ниже 1140 м). Выполненный анализ устойчивости показал, что данные уклоны достаточны для обеспечения прочности плотины.

Следующая схема представляет типовое поперечное сечение плотины и план для варианта с самой высокой плотиной (НПУ = 1290м).

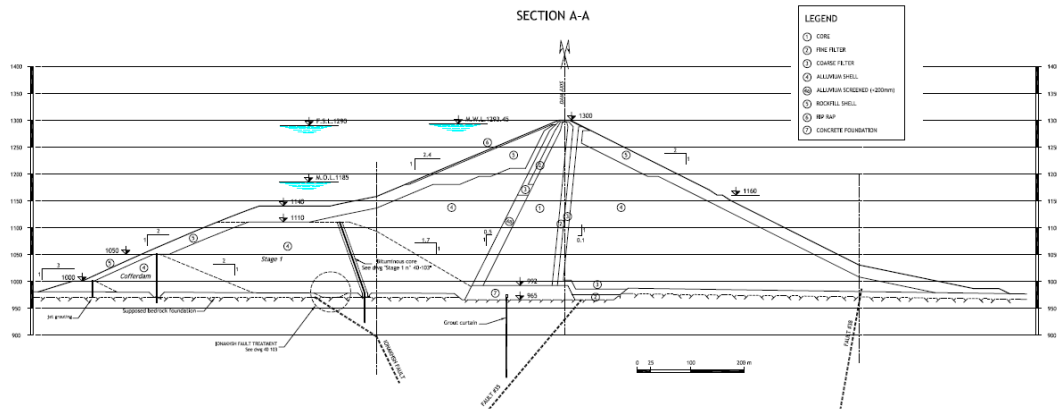


Рис. 3-7: Поперечное сечение плотины. Вариант НПУ=1290м

Зонирование материалов, рекомендуемое Консультантом, включает от верхового к низовому:

- Каменная наброска на верховом откосе выше минимального эксплуатационного уровня;
- Слой каменной наброски толщиной минимум 20м;
- Случайный аллювиальный материал;
- Крупнозернистый фильтр толщиной 10м;
- Мелкозернистый фильтр толщиной 10м;
- Ядро

Больше информации по различным характеристикам материала приведено в Приложении 1.

Слой каменной наброски толщиной минимум 20 м; в верхней части плотины толщина данного слоя увеличивается, пока полностью не покроеет верховую и низовую призму. В анализе устойчивости было показано (Приложение 2), что верхние 50 м плотины являются самыми критичными при сильном землетрясении. Поэтому, Консультант предпочитает использование материала с более высоким углом трения в данной зоне, такой как каменная наброска.

Толщина фильтров и переходных зон выбраны на основе анализа устойчивости и вычислений по постоянному горизонтальному смещению (Приложение 2), а также опыта. Фильтры толщиной 10м должны обеспечить непрерывность материала, даже в случае сильного землетрясения и горизонтального сдвига.

Вдоль всего низового откоса ядра и вдоль верхового откоса между гребнем и минимальным эксплуатационным уровнем, установлены 2 слоя фильтров: мелкозернистые фильтры от ядра и крупнозернистые фильтры от аллювия. Слои фильтров должны предотвратить перенос мягкого грунта из ядра к призмам.

Под минимальным эксплуатационным уровнем, необходимости в двух слоях фильтров нет и слой (4а) нужен только для обеспечения перехода между ядром и аллювием.

Фильтры и переходные слои также есть в основании, чтобы покрыть Разлом №35 и предотвратить перенос мягкого грунта вдоль разлома.

Аллювиальный слой необходим между крупнозернистым фильтром и каменной наброской для обеспечения функционирования фильтров и переходов.

Аллювиальные слои рассматриваются как водопроницаемые. Поэтому дренажный слой на дне долины не нужен: потенциальная протечка ядра будет унесена ниже плотины через аллювиальную призму.

Ядро наклонено вниз по течению, минимальная толщина на вершине 8 м. Верховой откос ядра наклонен вниз по течению с уклоном 0.5H/1V. Низовой откос ядра наклонен вниз по течению с уклоном 0.1H/1V. Таким образом, сумма уклонов 0.4H/1V.

### 3.3 Этапы плотины

Строительство Рогунской плотины пройдет в несколько строительных этапов: предварительная перемычка, перемычка и плотины первой очереди.

#### 3.3.1 Предварительная перемычка и перемычка

Предварительная перемычка используется для начала перекрытия реки, и сделана из больших блоков, брошенных в реку, а затем случайно насыпного материала.

Перемычка сделана из того же аллювия и каменной наброски, что и основная плотина. Отметка ее гребня 1050 м, то есть на 15 м выше проекта ИГП. Обоснование этому приведено в §**Error! Reference source not found.** Верховой и низовой откосы 2H/1V являются достаточными, учитывая используемый материал (у которого угол внутреннего трения между 39° и 42°) и временный эксплуатационный срок данного сооружения.

Перемычка должна быть завершена до начала высоких речных паводков (июнь и июль). Объем перемычки составляет 2.27 миллионов м<sup>3</sup>, и со скоростью укладки материалов в 0.3 миллионов м<sup>3</sup>/месяц, условие будет выполнено.

Тем не менее, чтобы успевать за данным графиком, строительство перемычки не должно быть замедлено укладкой противофильтрационного фильтра. Вертикальное центральное битумное ядро: оно устанавливается как центральное вертикальное ядро, уложенное на бетонную плиту с противофильтрационной защитой на каждом берегу и в русле реки. При таком решении аллювий русла реки должен быть извлечен из окрестностей ядра, чтобы заанкерировать плиту с противофильтрационной защитой на скале. Битум пластичный материал, который приспособится к неравномерной усадке между ядром перемычки и берегами.

Решение битумного ядра является наиболее безопасным, но оно требует извлечение всего речного аллювия, чтобы заанкерироваться на скале. Поэтому в ИТЭО принято решение с битумом.

### 3.3.2 Плотина первой очереди

#### 3.3.2.1 Введение

Рогунская ГЭС была исследована Институтом Гидропроекта (ИГП) в Москве, с нормальным подпорным уровнем (НПУ) на отметке 1290 м. Согласно техническому заданию ТЭО, необходимо оценить еще два варианта с другими высотами плотин, вместе с проектом ИГП.

Два других нормальных подпорных уровня для оценки были установлены на отметках 1255 м и 1220 м.

Плотина первой очереди представляет промежуточный этап основной плотины, позволяя начать выработку электроэнергии, пока строительство плотины и других объектов проекта продолжается до конца.

Проект плотины первой очереди представлен на чертеже № 40 103, 40 203 и 40 303. Она сделана из того же аллювия и каменной наброски, что и основная плотина. Консультант сохранил откос как в проекте ИГП, то есть верховой 2Н/1V и низовой 1.7Н/1V. Как показано в Приложении 2, данные откосы достаточны для обеспечения прочности плотины первой очереди во время ее укороченного эксплуатационного срока.

Ось плотины первой очереди определяется несколькими ограничениями, перечисленными ниже:

- Ядро первой очереди должно быть установлено ниже Йонахшского разлома, чтобы избежать давления трещин внутри разлома, что может привести к увеличению растворения соли;
- Низовой откос не может быть круче 1.7Н/1V по причинам сохранения устойчивости, как показано ИГП в своих вычислениях устойчивости (см. Приложение 2);
- Низовая призма первой очереди не должна накладываться на подошву ядра окончательной плотины;

Из-за вышеперечисленных ограничений, ядро немного наклонено выше по течению с уклоном 0.2Н/1V. Данный уклон необходим для ограничения наложения низовой пяты первой очереди и подошвы ядра окончательной плотины.

Консультант представил небольшое изменение оси первой очереди для более высокого варианта, потому что Йонахшский разлом и ядро первой очереди пересекали друг друга. Как показано на следующем рисунке, новая ось не пересекает разлом ни в одной отметке.

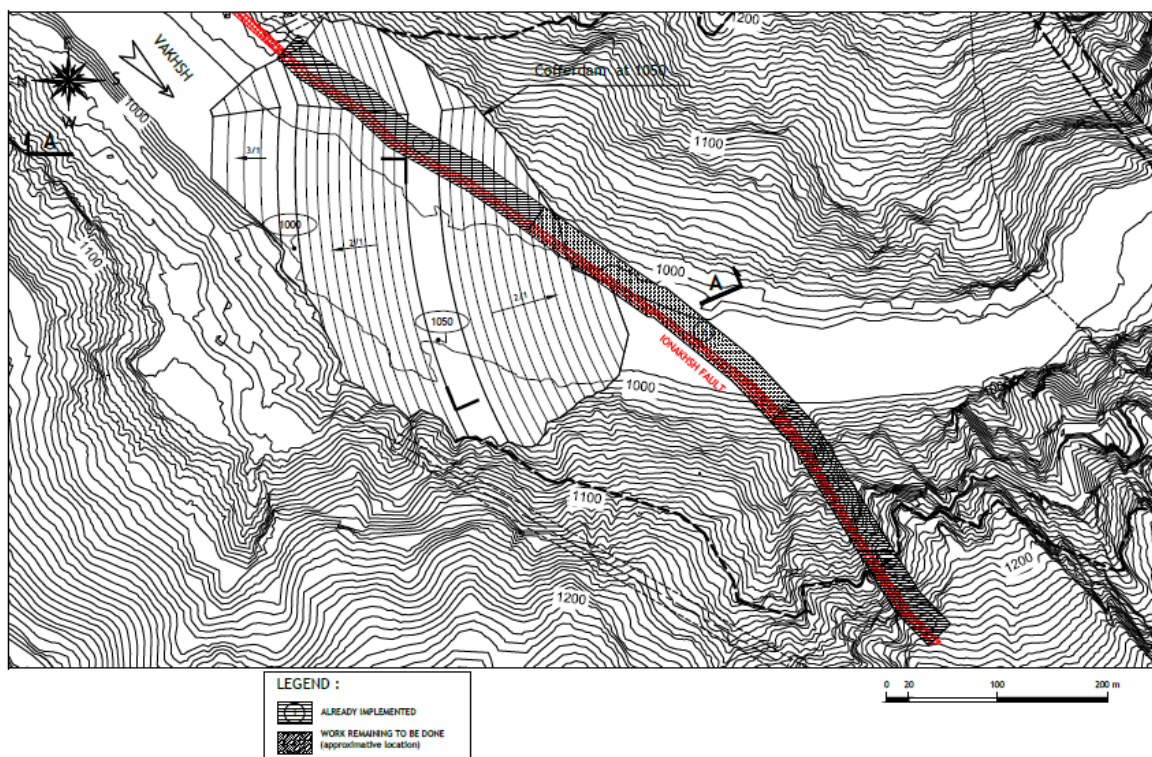


Рис. 3-8: Йонахшский разлом и плотина первой очереди.

Необходимо подчеркнуть, что для варианта с самой высокой плотиной, план плотины первой очереди имеет много ограничений и не оставляет никакого запаса прочности, в то время как топография местности и Йонахшский разлом не могут быть установлены с идеальной точностью.

Для вариантов с самыми низкими плотинами, подошва ядра окончательной плотины меньше; поэтому ограничения не такие строгие, как для самого высокого варианта. Была даже рассмотрена минимальная дистанция в 10 м между пятой плотины первой очереди и зоной выемки ядра окончательной плотины.

Консультант предпочел заменить мембрану битумным ядром, из-за причин указанных в §**Error! Reference source not found.** Битумное ядро толщиной 80 см заанкерировано на бетонной плите с противофильтрационной защитой, которая сама заанкерирована на скале. Два слоя фильтров установлены на каждой стороне ядра.

В рамках следующей информации будут представлены концепты и результаты предварительной оценки плотин первой очереди относительно двух вариантов с другими высотами основных плотин.

### 3.3.2.2 Описание вариантов первой очереди

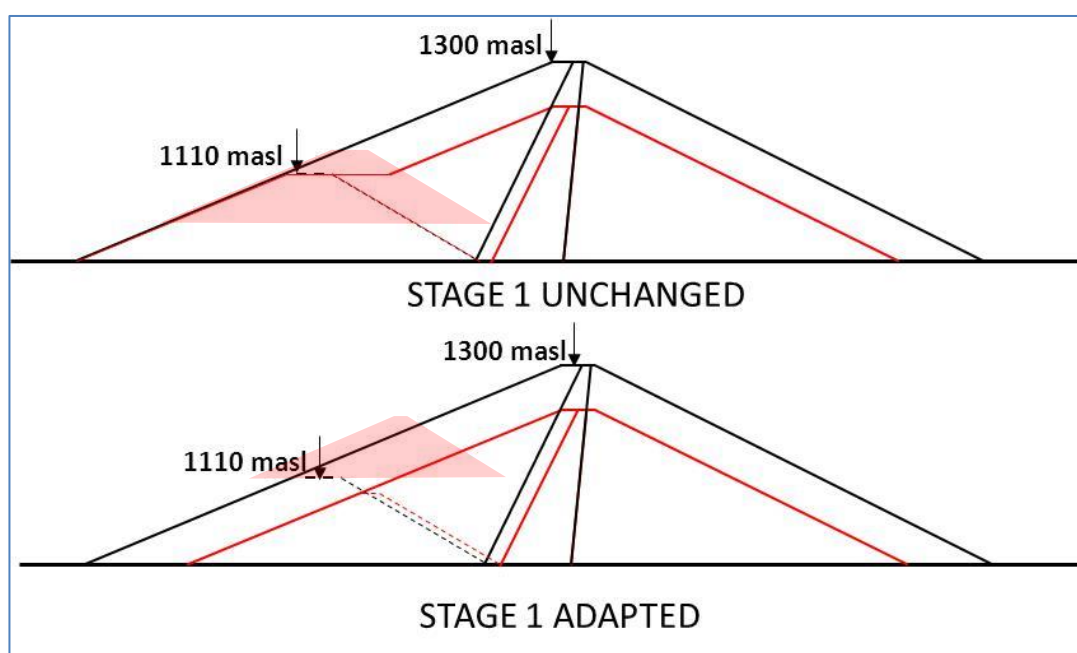
#### **Общее**

Для вариантов плотин первой очереди были исследованы два основных концептов проекта:



- «Неизменная плотина первой очереди»: высота и откосы плотины первой очереди, также как и местоположение, остаются такими же, как спроектированная ИГП плотина первой очереди для плотины с НПУ на отметке 1290: гребень плотины первой очереди остается на отметке 1110 м, и находится в том же местоположении, что и у ИГП.
- «Адаптированная плотина первой очереди»: задачей является спроектировать самую высокую плотину, которая подойдет к верховой призме окончательной плотины. Это приводит к более низкому уровню гребня и соответственно меньшему объему окончательной плотины.

Два основных концепта продемонстрированы на следующем рисунке. Необходимо отметить, что верховой и низовой откосы плотины остались неизменными.



### Для окончательной плотины с НПУ = 1220 м

Для окончательной плотины с НПУ 1220 м, такие ограничения строительной площадки как местоположение ядра основной плотины, местоположение Йонахшского разлома и местоположение водоприемников существующих строительных тоннелей, позволяет использовать неизменную или адаптированную плотину первой очереди.

Следующая схема показывает трехмерную модель для обоих вариантов: красная зона представляет часть плотины общую для обоих вариантов, зеленая зона представляет неизменную плотину первой очереди, а пурпурная зона представляет адаптированную плотину первой очереди.

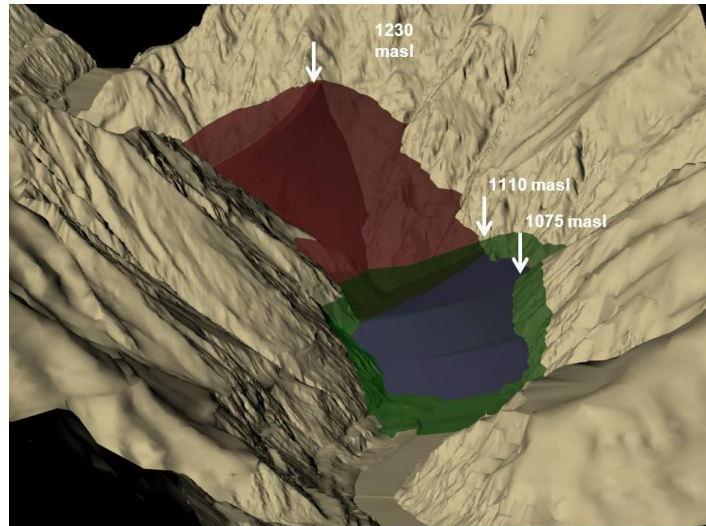


Рис. 3-9: Трехмерное представление обоих вариантов - НПУ = 1220 м (низовой вид)

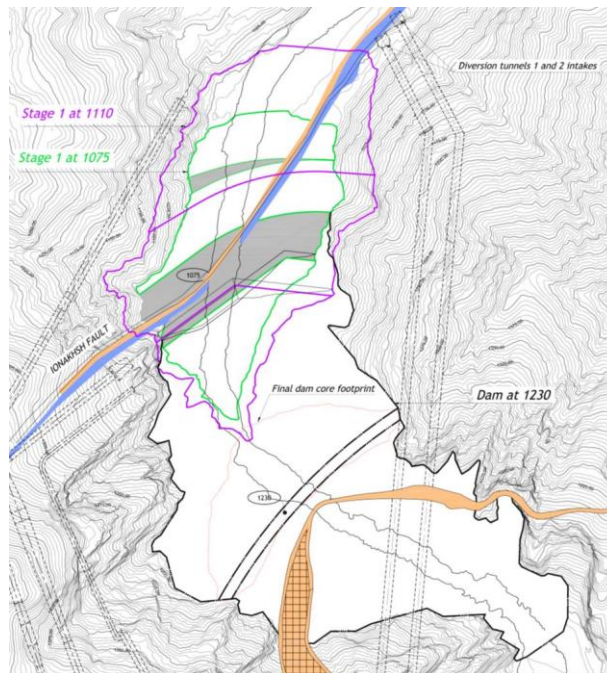
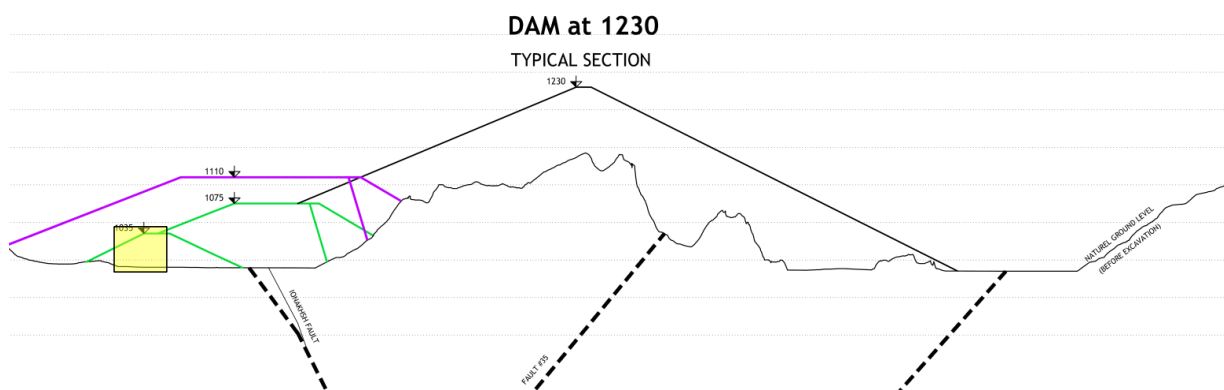


Рис. 3-10: Вид сверху обоих вариантов - НПУ = 1220 м



**Рис. 3-11: Поперечное сечение обоих вариантов - НПУ = 1220 м**

«Неизменная плотина первой очереди» ведет к окончательной плотине, представляющую очень большую платформу на 1110 м: ее длина варьируется от 200м до 225м. Что каса

ется плотины 1290 м, верховая пята плотины расположена чуть ниже водоприемников строительных тоннелей.

«Адаптированная плотина первой очереди» имеет гребень на 1075 м, то есть на 35 м ниже неизменной плотины первой очереди. Верховая пята плотины расположена на 150 м ниже водоприемников строительных тоннелей, а платформа на отметке 1075 м ограничена до 100м.

Низовая пята «адаптированной плотины первой очереди» расположена на 20-25 м выше подошвы ядра окончательной плотины, в то время как низовая пята «неизменной плотины первой очереди» немного накладывается на ядро окончательной плотины.

Был вычислен общий объем обоих решений, и представлен в следующей таблице.

<b>Объем окончательной плотины с неизменной плотиной первой очереди</b>	<b>41 миллион м<sup>3</sup></b>
<b>Объем окончательной плотины с адаптированной плотиной первой очереди</b>	<b>35 миллион м<sup>3</sup></b>
<b>Разница</b>	<b>-15%</b>

**Таблица 3.4: Объем окончательной плотины с НПУ 1220 м**

#### **Для окончательной плотины с НПУ = 1255 м**

Для окончательной плотины с НПУ 1255 м, те же ограничения строительной площадки (местоположение ядра основной плотины, местоположение Йонахшского разлома и местоположение водоприемников существующих строительных тоннелей) привели к следующему плану плотины, с неизменной и адаптированной плотиной первой очереди.

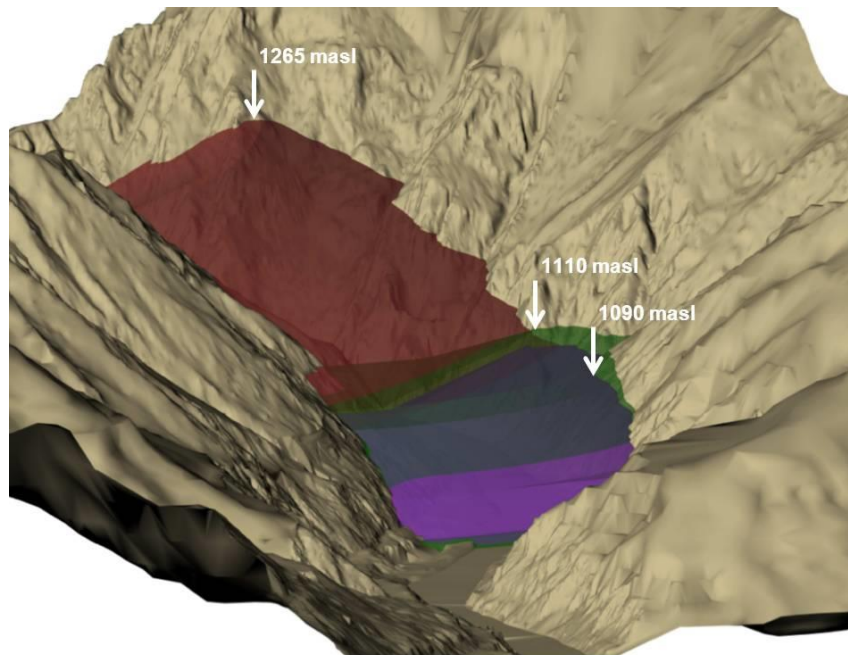


Рис. 3-12: Трехмерное представление обоих вариантов - НПУ = 1255 м (низовой вид)

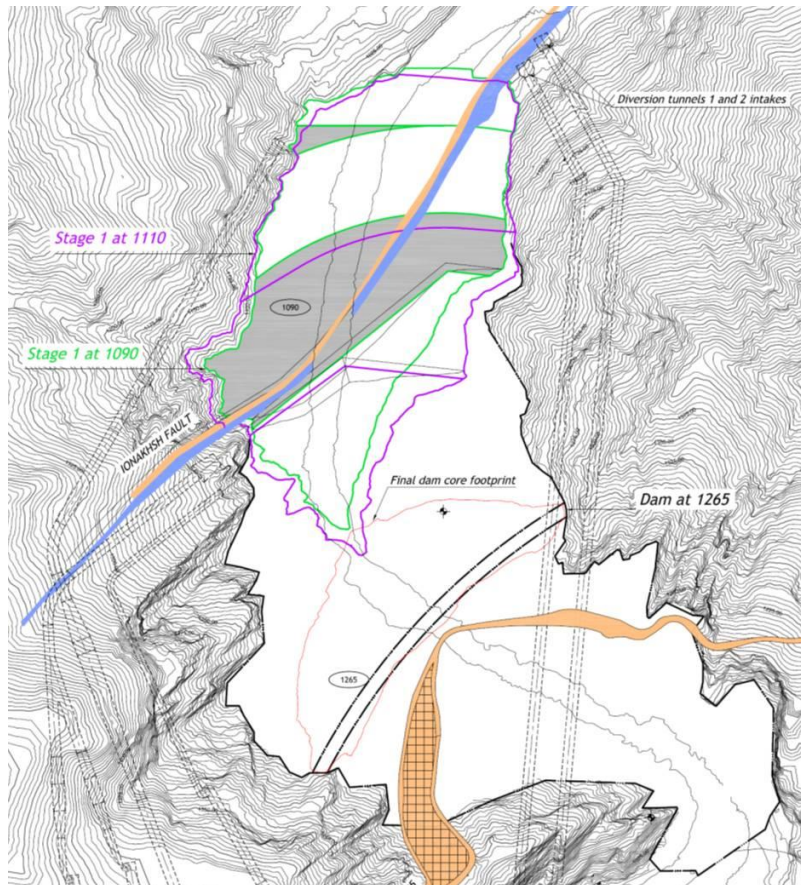


Рис. 3-13: Вид сверху обоих вариантов - НПУ = 1255 м

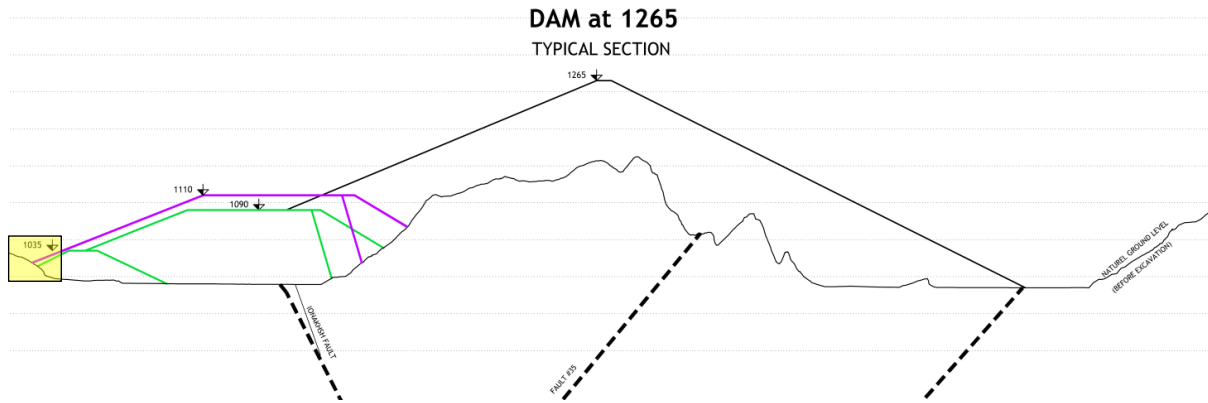


Рис. 3-14: Поперечное сечение обоих вариантов - НПУ = 1255 м

«Неизменная плотина первой очереди» и «адаптированная плотина первой очереди» очень похожи: что касается плотины с НПУ 1290 м, верхняя пята плотины расположена чуть ниже водоприемников строительных тоннелей для обоих вариантов.

Гребень «адаптированной плотины первой очереди» находится на отметке 1090 м, то есть на 20 м ниже «неизменной плотины первой очереди».

Единственная интересная разница между двумя вариантами – это тот факт, что при «адаптированной плотине первой очереди», низовая пята плотины первой очереди не накладывается на ядро окончательной плотины.

Был вычислен общий объем обоих решений, и представлен в следующей таблице.

<b>Объем окончательной плотины с неизменной плотиной первой очереди</b>	55.6 миллион м <sup>3</sup>
<b>Объем окончательной плотины с адаптированной плотиной первой очереди</b>	54.5 миллион м <sup>3</sup>
<b>Разница</b>	-2%

Таблица 3.5: Объем окончательной плотины с НПУ 1255 м

### 3.3.2.3 График выполнения работ

График выполнения работ необходим для оценки преимуществ и недостатков различных вариантов в зависимости от графика строительных работ и выработки электроэнергии.

Представленный здесь график выполнения работ прост, но достаточен для достижения цели: сделать сравнение нескольких вариантов.

Он был сделан, принимая ту скорость укладки материалов, которая указана в «Графике выполнения работ и методах строительства» (Том 4 Глава 1).

### Для окончательной плотины с НПУ = 1220 м

Следующий график показывает рост плотины со временем для двух вариантов: неизменная и адаптированная плотина первой очереди.

С адаптированной плотиной первой очереди, строительство плотины завершится на 20 месяцев раньше, чем с неизменной плотиной первой очереди.

Оба решения одинаковы при отметке выше 1110 м. Таким образом, разница в графике между двумя решениями возникает только из-за первых лет строительства и того факта, что адаптированная плотина первой очереди на отметке 1110 м представляет меньший объем, чем неизменное решение.

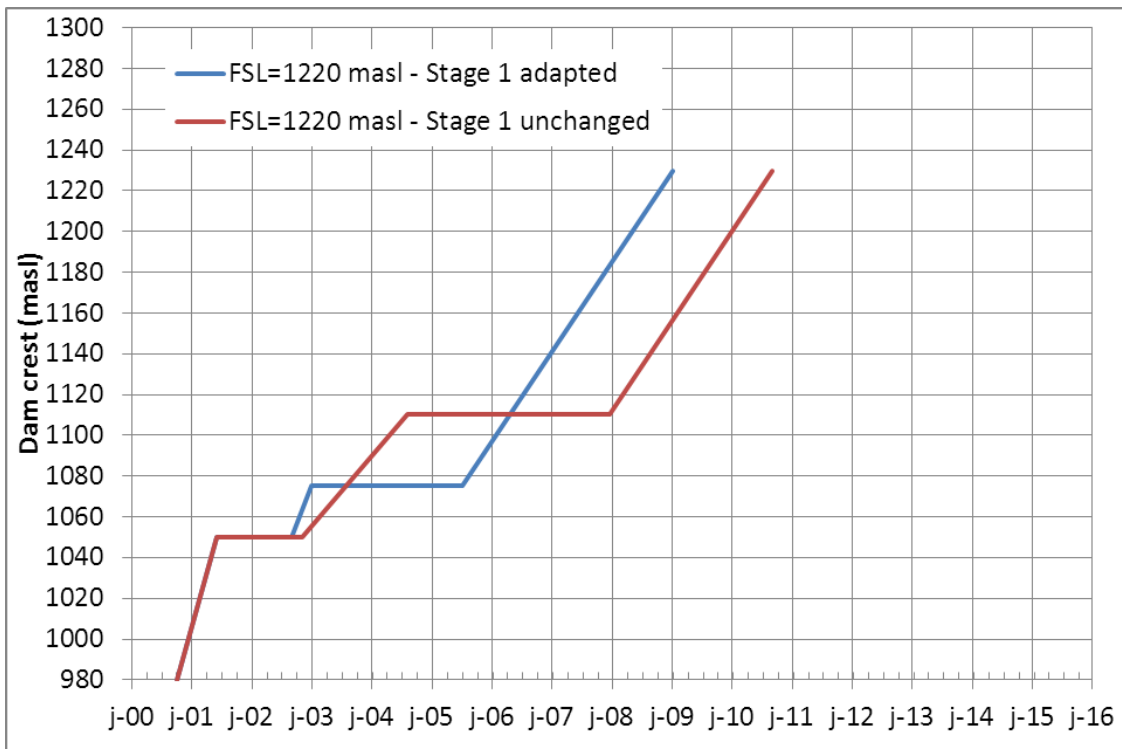


Рис. 3-15: Сравнение роста плотины со временем - НПУ = 1220 м

Относительно ввода в эксплуатацию турбин:

- Временные агрегаты 6 и 5 могут быть готовы к эксплуатации через 32 и 35 месяцев соответственно после перекрытия реки (одинаково для всех вариантов).
- Остальные агрегаты могут последовательно вводиться в эксплуатацию после достижения отметки плотины в 1130 м.

#### **Для окончательной плотины с НПУ = 1255 м**

Следующий график показывает рост плотины со временем для двух вариантов: неизменная и адаптированная плотина первой очереди.

Две кривые близки друг к другу, так как адаптированная плотина первой очереди не сильно отличается от неизменной плотины первой очереди.

С адаптированной плотиной первой очереди, плотина будет закончена на 4 месяца раньше, чем с неизменной плотиной первой очереди.

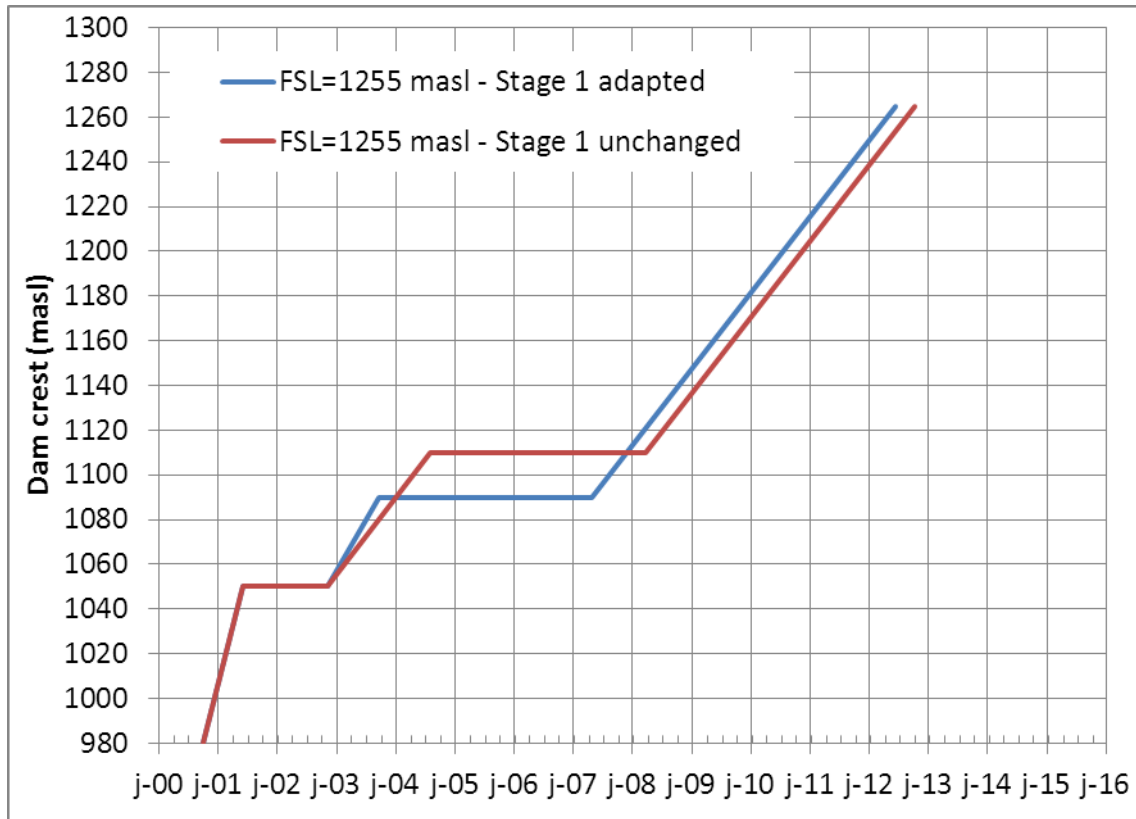


Рис. 3-16: Сравнение роста плотины со временем - НПУ = 1255 м

Относительно ввода в эксплуатацию турбин:

- Временные агрегаты 6 и 5 могут быть готовы к эксплуатации через 32 и 35 месяцев соответственно после перекрытия реки (одинаково для всех вариантов).
- Остальные агрегаты могут последовательно вводиться в эксплуатацию после достижения отметки водохранилища в 1130 м.

#### 3.3.2.4 Выработка электроэнергии

Наиболее важный вопрос относительно выработки электроэнергии во время строительства – это зимний период.

Количество зимней электроэнергии значительно увеличится, как только Рогун можно будет использовать в качестве регулирующего устройства: в Рогуне из-за увеличения выброса, в Нуреке, потому что водохранилище может сохранять нормальный подпорный уровень на протяжении всей зимы, увеличивая напор и соответственно выработку.

Регулирование Рогунского водохранилища может начаться, как только водохранилище достигнет минимального уровня, позволяющего эксплуатацию финальных турбин, то есть 1130 м и 1120 м для вариантов с НПУ 1255 м и 1220 м соответственно.

Как видно в предыдущем параграфе, эти отметки достигаются раньше с «адаптированной плотиной первой очереди». Следующая таблица указывает сэкономленное время с адаптированной плотиной первой очереди и соответствующую электроэнергию.

	НПУ=1220 м	НПУ =1255 м
<b>Месяцев сэкономлено</b>	20 (2 зимних сезона)	4 (0 зимних сезонов)

### 3.3.2.5 Выводы

Настоящая записка показывает преимущества и недостатки с точки зрения инвестирования (объем материала для укладки) и выработки электроэнергии для проекта адаптированной плотины первой очереди для вариантов плотины (НПУ = 1220м и 1255м).

	НПУ = 1255 м	НПУ = 1220 м
<b>Ссылка на неизменную плотину первой очереди</b>	Адаптированная плотина первой очереди	Адаптированная плотина первой очереди
<b>Инвестирование (укладка материала)</b>	- 2 %	- 16 %
<b>Выработка электроэнергии</b>	незначительная	2 зимних сезона

Для окончательной плотины с НПУ 1255 м, экономия во времени строительства низкая, как и выгода в выработке электроэнергии. Однако, учитывая положительный эффект, рекомендуется использовать решение адаптированной плотины первой очереди для окончательной плотины с НПУ 1255 м, то есть уровнем гребня на 1090 м.

Для окончательной плотины с НПУ 1220 м, будет интересно воспользоваться проектом, чтобы сократить время строительства и выработать больше электроэнергии в период строительства. Поэтому Консультант рекомендует использовать решение адаптированной плотины первой очереди для окончательной плотины с НПУ 1220 м, то есть уровнем гребня на 1075 м.



### 3.4 Материал плотины

#### Источник материалов

В начале проекта было предварительно выбрано несколько карьеров и карьерных зон для обеспечения материалами, необходимых для строительства плотины. С того времени, и после дополнительных анализов материалов, некоторые из этих карьеров были признаны не подходящими предыдущими проектировщиками.

В настоящее время четыре карьера/карьерные зоны признаны подходящими и соответствующими техническим характеристикам и ограничениям проекта:

- Карьерная зона 15, в основном материал для аллювиальных боковых призм, переходных слоев и фильтров,
- Кавальеры из карьерной зоны Лабидора будут использоваться для переходных слоев и фильтров,
- Карьерная зона 17 для ядра плотины,
- Карьер 26 для каменно-набросной призмы и каменной наброски.
- Инертный материал для бетона предлагается перерабатывать из материалов карьерной зоны 15.

#### Оценка количества материалов

В Таблица 3-6 приведены детали необходимого количества материалов для каждого варианта.

Таблица 3-6: Количество материалов на месте [м<sup>3</sup>], ТЭО.

Материал / Вариант	Вар. 1290	Вар. 1255	Вар. 1220
1 Аллювиальная призма	43,063,864	33,182,921	18,924,605
2 Каменно-набросная призма	17,365,059	12,475,052	9,352,361
3 Битумное ядро	23,704	20,148	17,778
4 Ядро	6,992,490	5,104,518	3,714,728
5 Мелкозернистый фильтр	2,466,655	1,350,195	747,638
6 Крупнозернистый фильтр	3,154,955	2,033,519	2,000,334
7 Каменная наброска	554,675	368,629	302,589
<b>ВСЕГО</b>	<b>73,621,402</b>	<b>54,534,982</b>	<b>35,060,033</b>

## Вывод и рекомендации

Объемы необходимые для плотины имеются в карьерах / карьерных зонах и кавальерах. Материалы для фильтров, в основном, будут использоваться из кавальеров, уже доступных после выемки из карьерной зоны Лабидора. Однако в данном кавальере объемы не достаточны, и недостающие объемы будут выниматься из карьерной зоны 15, и перерабатываться для соответствия техническим характеристикам для фильтров. Особое внимание должно быть уделено своевременной выемке материала из карьерной зоны 15, так как данная карьерная зона будет затоплена на ранних стадиях строительства.

Необходимые количества инертных материалов для бетона будут покрыты за счет материалов из карьерной зоны 15, которые представляют большой состав частиц по крупности для инертных материалов для бетона, и за счет особой обработки и выбора подходящих материалов.

Что касается материалов для ядра, ожидается комплексный анализ по влиянию содержания тонкой фракции на водонепроницаемость для того, чтобы установить необходимое содержание тонкой фракции и приспособить процессы, необходимые для удовлетворения этих технических характеристик. Основываясь на своем опыте, Консорциум ТЭО предположил, что для этого ТЭО должен быть принят консервативный подход. Поэтому в оценке стоимости было рассмотрено, чтобы для увеличения содержания тонкой фракции были смешаны материалы карьерной зоны 17 и мелкозернистые материалы для всего материала ядра плотины. Мелкозернистые материалы были определены в достаточных количествах из разных источников.

Поводом для беспокойства также является влагосодержание карьерной зоны 17, и в оценке стоимости было принято в расчет регулирование влажности путем создания специальных условий хранения.

Исследования материалов и связанные с ними исследования выявили необходимость всесторонней кампании по тестированию всех материалов в лабораторных и полевых условиях на следующем этапе проекта. Также на встречах в Париже было достигнуто понимание, что исследования данной темы уже были начаты. По причинам указанным выше, лучше выполнить данные исследования до проведения тендера. Стоимость таких исследований остается низкой по сравнению с общей стоимостью проекта, и они могут внести очень позитивный вклад в дальнейшие этапы Рогунского проекта.

### 3.5 Обработка основания

Состояние основания плотины было оценено в Геотехническом Отчете (отчет Фазы 2, Том 1, Глава 3). Необходимо выделить следующее:

- Необходимо выполнить масштабные и всесторонние исследования по удалению скальной породы или укреплению скальных пород над стройплощадкой;

- Залежи аллювия в русле реки не наблюдались, поэтому окончательное решение оставить или удалить их будет сделано после перекрытия реки. В основном это будет зависеть от их степени уплотнения и доли содержания тонкой фракции (которая должна быть сравнима с материалом боковых призм плотины); Тем не менее, их будет необходимо удалить из основания ядра (бетонная плита);
- Выемка для основания ядра основной плотины будет сделана до достижения основания твердой породы (Зона III). Из-за подверженности алевролитов выветриванию, рекомендуется торкретировать выработку, чтобы избежать обрушения и выветривания. По возможности рекомендуется оставлять слой толщиной в 1 м над проектным уровнем основания, который будет снят сразу перед укладкой материала тела плотины.
- Нужна противофильтрационная завеса для ограничения просачивания воды сквозь основание;
- Необходимо сделать наполнительную и укрепительную цементацию ниже ядра плотины, чтобы восстановить свойства скального основания, которое будет изменено взрывными работами;

Предполагаемый проект Консультанта по обработке основания приведен ниже для каждого этапа плотины: предварительной перемычки, перемычки, плотины первой очереди и основной плотины.

Для предварительной перемычки, маленького (высотой 10 м) и временного сооружения, аллювий русла реки не удаляется. Данное сооружение используется для начала перекрытия реки и высушивания русла. Поэтому необходимо контролировать просачивания сквозь песок, гравий и булыжники. Предлагается снизить эти просачивания струйной цементацией сквозь аллювий русла реки.

Для перемычки, битумное ядро будет заанкерено на бетонной плите с противофильтрационной защитой; эта плита должна быть уложена на горную породу ложа. Поэтому необходимо выполнить следующие работы:

- Удаление аллювия русла реки в окрестностях основания плиты;
- Чистка горной породы ложа и берегов, выемка неустойчивой породы, заполнение трещин и дырок бетоном;
- Укрепительная цементация под битумным ядром плиты.

Для плотины первой очереди, битумное ядро будет заанкерено на бетонной плите с противофильтрационной защитой. Плита должна быть уложена на горную породу ложа. Поэтому необходимо выполнить следующие работы:

- Удаление аллювия русла реки в окрестностях основания плиты;
- Чистка горной породы ложа и берегов, выемка неустойчивой породы, заполнение трещин и дырок бетоном;
- Укрепительная цементация под битумным ядром плиты.

- Рекомендуется установить противофильтрационную завесу для обеспечения водонепроницаемости плотины первой очереди, она должна быть глубиной 90 м и не должна пересекать Йонахшский разлом.

### **Основная плотина**

В дополнение к вышеупомянутым геотехническим требованиям достижения твердой породы Зоны III, рельеф основания ядра основной плотины демонстрирует серьезные неровности поверхности, сильные изменение уклонов поверхности, большие нависающие скалы...

Поэтому Консультант провел исследование выемки основания ядра, которая направлена на:

- Выработка основания ядра плотины глубиной 5 м, чтобы удалить выветренную породу Зоны I и II;
- Сглаживание неровного рельефа чтобы избежать концентрации напряжений и обеспечить целостность ядра плотины;
- Обеспечение горизонтального (или наклоненного выше по течению) контакта между ядром и основанием.

Чертежи выемки ядра представлены в № 40-103,203 и 303. Количество выработки породы представлено в следующей таблице для трех вариантов плотины. На следующем этапе исследований возможно и даже нужно провести оптимизацию плана выемки.

НПУ=1290 м	НПУ =1255 м	НПУ =1220 м
2.34 миллионов м <sup>3</sup>	1.73 миллионов м <sup>3</sup>	1.64 миллионов м <sup>3</sup>

**Таблица 3-7: Объем проходки породы**

Аргиллиты нижнего Обигарма, на которых установлено ядро плотины, имеют низкую водонепроницаемость. Однако чтобы предотвратить просачивание сквозь основание, необходимы некоторые цементационные работы для:

- Герметизации трещин в основании ядра, которые могут привести к эрозии ядра;
- Предотвращения пропитывания водой из-за присутствия гипса в слое Обигарма.

Разлом №35 рассматривается как природный водонепроницаемый барьер. Поэтому, противофильтрационная завеса может быть максимум 2/3 от высоты плотины для достижения ненарушенной породы Зоны II или IV, но не должна пересекать разлом №35. Это вертикальная завеса, сделанная из основных скважин с интервалом в 12 м.

Работы по противофильтрационной завесе будут выполняться из галерей: бетонными плитами на дне реки и на каждом берегу. Детали сети галерей будут спроектированы в следующих этапах исследования.

Также должны быть выполнены укрепительные работы под основанием ядра для ремонта любых несущественных повреждений, которые могли возникнуть из-за работ по выработке грунта.

### **3.6 Обработка соляного пласта и влияние на плотину**

Более детальное описание в отчете Фазы 0.

#### **3.6.1 Описание**

Настоящее местоположение плотины было выбрано таким образом, чтобы располагаться в узком ущелье реки Вахш при повороте на юг, между Йонахшским разломом на севере и Разломом 35 на юге.

Данная зона тектонически очень активна, и выполненные до 1978 года геодезические измерения показали оползание почвы Йонахшского разлома и Разлома 35 со скоростью от 1,5 до 2 мм в год.

Поэтому расположение плотины было выбрано так, чтобы ось плотины, как и ядро плотины, было расположено на блоке между этими двумя разломами, где предполагается отсутствие движения.

Что касается эвапоритов, в особенности соли, выщелачивание является очень быстрым явлением и может привести к драматическим последствиям.

#### **3.6.2 Меры по смягчению последствий**

Предлагаемая мера по смягчению последствий представляет комбинацию гидравлической завесы и цементации оголовка. Цементация должна быть оптимальной и проверена тестами Люжона, и при необходимости (везде наблюдаются значения выше 1 LU) выполнена повторно, пока контрольные гидравлические испытания не покажут везде значения менее 1 LU.

Как эффективная цементация, так и эффективный гидравлический барьер совершенно необходимы для предотвращения выщелачивания соли, или для ее понижения до приемлемой скорости в 25 см/год.

Более того, результаты свидетельствуют о том факте, что приемлемо даже использование только эффективного гидравлического барьера или эффективной цементации при условии что, по крайней мере, одна из данных мер по смягчению последствий будет функционировать на протяжении эксплуатационного срока проекта.

Мы рекомендуем, чтобы позволили вмешательство в восстановление эффективности обеих мер по смягчению последствий.

Для следования эффективности проектных мер по смягчению последствий, необходима адекватная система мониторинга, чтобы своевременные вмешательства и ремонтные работы выполнялись как можно раньше. Ниже приведены предложения по данной системе мониторинга.

С выполнением гидравлических и противодиффузионных барьеров, соответствующей системой мониторинга, и проектом восстановительных работ в

случае отказа работы барьеров, тщательный анализ возможных сценариев показывает, что вопрос выщелачивания в Йонахшском разломе не влияет на осуществимость проекта.

### 3.7 Оснащение плотины приборами и аппаратурой

#### **Основная плотина**

Система мониторинга является единственным способом слежения за поведением плотины после строительства, и за тем, чтобы оно соответствовало ожидаемому поведению. Поэтому очень важно его планирование на ранних этапах исследования.

Движения плотины будут наблюдаться благодаря:

- Топографическим рефлексорам, установленных на гребне плотины и откосах;
- Осадочным ячейкам, установленным в теле плотины;
- Акселерометрам, установленным на гребне плотины и основании.

Инструменты, использующие вертикальную трубу и зонд, такие как вертикальные измерители осадки и инклинометры, не могут быть использованы в Рогуне из-за ее высоты.

Осадочные ячейки сделаны из двух компонентов, установленных на одинаковый слой горизонта: одна ячейка устанавливается в тело плотины, а другая на поверхность плотины. Осадочные ячейки позволяют измерять относительную осадку тела плотины относительно сравнительной ячейки, установленной на поверхности плотины. Чтобы сделать относительное смещение абсолютным, топографический рефлексор должен быть установлен рядом с каждой сравнительной ячейкой. Также можно проверить, чтобы совокупная осадка, измеряемая всеми ячейками в одинаковой вертикальной оси, соответствовала вертикальному смещению гребня, измеренному топографическими приборами.

В дополнение к осадке (вертикальное смещение), топографические рефлексоры измеряют планиметрические движения (радиальные и направленные по касательной к оси плотины) гребня плотины, низового откоса и верхового откоса при низком уровне водохранилища.

Акселерометры на основании плотины и на гребне используются для слежения поведения плотины во время землетрясения и проведения эффективного анализа поведения плотины. Два дополнительных акселерометра также устанавливаются на обоих берегах. Они должны быть введены в эксплуатацию как можно раньше (например, за год до перекрытия реки) для записи сейсмического фона строительной площадки, чтобы можно было сравнить его с сейсмическим сигналом во время наполнения водохранилища. Это должно помочь в обнаружении вызванной сейсмической активности и при необходимости отрегулировать скорость наполнения водохранилища.

Гидравлическое поведение плотины может наблюдаться благодаря ячейкам порового давления, установленным в ядре, в верховой и низовой призме плотины, а также в

основании плотины. Цель чтобы убедиться в правильном гидравлическом поведении плотины: водонепроницаемость ядра и основания, и водопроницаемые призмы.

Просачивание сквозь тело плотины в Рогуне не может быть измерено: уровень воды выше низовой пяты плотины; следовательно, просачивание будет следовать дну долины, и достигнет реки под уровнем воды. Тем не менее, утечка может быть оценена благодаря пьезометрическим измерениям и гидравлическим вычислениям.

В дополнение, в качестве детекторов просачивания можно использовать оптоволоконный кабель: несколько кабелей установленных вдоль оси ядра ниже слоя крупнозернистого фильтра, и от 50 до 100 м над основанием, могут выявить увеличение просачивания сквозь ядро. Если потоки воды пересекут оптоволоконные кабели, они это заметят. Преимущество метода в определении приблизительного местоположения утечки вдоль оси плотины, в то время как пьезометры устанавливаются только в выбранных профилях.

Чертежи № 40 106 и № 40 107 в Томе 3 – Главе 4 показывают концепт для системы мониторинга плотины. Различные приборы установлены в 6 радиальных профилях. Это должно быть дополнительно изучено в следующих этапах проекта для решения некоторых практических вопросов, как проводка для всех измерительных ячеек.

Так как во время строительства неизбежно будет потеряна часть измерительных ячеек, важно количество установленных ячеек во время строительства.

Система мониторинга плотины также должна включать:

- Общую топографическую сеть, по крайней мере, с 6 ориентирами, которые можно принимать за постоянные (нет движения).
- Серия пьезометров и топографических рефлекторов на обоих берегах.

### **Соляной пласт**

Для наблюдения соляного пласта ниже приведены рекомендации, сделанные в отчете Фазы 0:

- Топографическая съемка гребня и откосов плотины первой очереди во время завершения окончательной плотины;
- Регулярное исследование звуковым эхолотом (зонаром) напорной грани плотины для обнаружения любых аномальных деформаций после наполнения водохранилища;
- Микро гравитационные исследования на протяжении всего этапа первой очереди от гребня;
- Проводимость 12 наклонных скважин 6 профилей двух скважин, одна длиной 60 м наклонена на 60°, другая длиной 70 м наклонена на 45°. Обе с 4 ячейками проводимости на одинаковом расстоянии. Требуется постоянный мониторинг.

## 4 ОТВОД РЕКИ

Перекрытие реки в Рогуне является комплексной проблемой, на которую влияют и ограничивают несколько факторов:

- Гидрология реки и график строительства;
- Топография строительной площадки;
- Существующие сооружения;
- Раннее заполнение водохранилища и ранняя выработка электроэнергии.

### 4.1 Специфические критерии проектирования

#### 4.1.1 Расчетный паводок

Расчетный паводок, который должен рассматриваться в перекрытии реки детально обсуждается в деталях в Приложении 3 – управление паводками во время строительства. Основные элементы рассматриваются ниже.

Учитывая продолжительность строительного периода и его стадии, различают три строительных этапа: очередь перемычки, плотина первой очереди и плотина основной очереди. Для каждой из них были выбраны разные расчетные паводки. Таблица 4-1 представляет выбранную вероятность возникновения для защитного уровня о время строительства и соответствующей повторяемости для каждого варианта плотины.

		Перемычка	1 очередь	Завершение основной плотины
Вероятность возникновения		1/50	1/100	1/200
Повторяемость (лет)	НПУ = 1290 м.н.у.м.	100	450	2500
	НПУ = 1255 м.н.у.м.	100	450	1000
	НПУ = 1220 м.н.у.м.	100	300	700

Таблица 4-1: Расчетный паводок – вероятность возникновения и повторяемость

Защитный уровень увеличивается по мере подъема плотины, естественно, чем выше плотина, тем серьезнее последствия в случае ее прорыва. Объем создаваемых водохранилищ в любой момент показан в таблице 4-2, чтобы численно определить уровень последствий, если возникнет паводок и плотину прорвет. Следует отметить, что эти объемы воды могут быть приняты Нурекским водохранилищем путем увеличения уровня водохранилища на 2 м (перемычка) и 6 м (1 очередь), но не может быть принята никакими средствами для основной плотины.

Был проведен анализ чувствительности на защитном уровне для оценки воздействия на количество сооружений и их размер. Показано, что это имеет незначительное воздействие на сооружения перекрытия и отвода. Этот анализ подробно представлен в Приложении 5.



	Перемычка	Первая очередь	Основная плотина
НПУ = 1290 м.н.у.м.	V = 190 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 2 м	V = 610 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 6.3 м	V = 13 300 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= !!! м
НПУ = 1255 м.н.у.м.	V = 190 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 2 м	V = 480 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 5 м	V = 8 490 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= !!! м
НПУ = 1220 м.н.у.м.	V = 190 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 2 м	V = 360 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= 3.7 м	V = 5 210 млн м <sup>3</sup> dZ(Нурек)= !!! м

Таблица 4-2 : Объем водохранилища и последствия

#### 4.1.2 Критерии по сооружениям

##### Существующие сооружения

Общей идеей является максимальное использование существующих сооружений. Здесь представлены ограничения для существующих сооружений.

Как уже обсуждалось в отчете 1 очереди, гидравлическое поведение двух строительных тоннелей не является полностью удовлетворительным, поэтому возникает гидравлический прыжок внутри низового участка тоннелей, которые всегда должны работать в безнапорных условиях.

Это ввиду того факта, что уровень нижнего бьефа теперь выше на несколько метров, чем было первоначально предусмотрено, из-за наносов материала, последовавшего после прорыва перемычки и селевого потока из сая Оби Шур.

Гидравлические испытания, которые нам довелось наблюдать в Москве для потоков до 1,600 м<sup>3</sup>/с/тоннель, подтвердили, что если восстановить низовую первоначальную отметку, вода течет в сверхкритических условиях и не возникает гидравлических прыжков.

Другой помехой является подъем давления внутри тоннеля в участке недалеко от соединения с коллекторами машинного зала.

Так же предметом озабоченности является структура тоннелей, которая была проанализирована в предварительном отчете, в октябре 2011 года и которая не была признана соответствующей международным критериям проектирования для такого типа сооружений.

Для всех вышеуказанных причин, мы считаем, что использование двух строительных тоннелей в качестве водосливных сооружений должно быть ограничено и по времени и по напору воды.

Скорее всего, им потребуются серьезные восстановительные работы, уже рассматривалось в этом анализе, что их диаметр будет снижен на 60 см, как следствие восстановительных работ.

Эти тоннели должны работать при максимальном напоре 120 м и их максимальный расход желательно не должен превышать 1600 м<sup>3</sup>/с/тоннель.

### Новые тоннели

Максимальный напор, выдерживаемый в строительных тоннелях (временных сооружениях) составляет 120 м. Это значение может быть превышено на 30 м, т.е. 150 м, при экстремальных условиях, таких как высокий паводок или землетрясение.

Это ограничение установлено для удержания максимальной скорости воды через проёмы затворов в пределах ограничений, предложенных ниже, для предотвращения кавитации, чрезмерного проникновения воздуха и феномена неустойчивости потока.

Следующие графики представляют данные, извлеченные из книги «Проектирование гидравлических затворов» написанной П. Эрбисти в 2004 году и представляющей проектировочный напор и площадь затворов существующих затворов высокого давления. Красная линия интерполирована из двух крайних точек: Тарбела (самые большие затворы) и Бивер (повышенный проектировочный напор). Пунктирная линия интерполирована из всех данных. Она показывает, что критерии проектирования 120-150 м являются обоснованными, учитывая размер требуемых затворов.

В любое время строительства как минимум два тоннеля должны быть в рабочем состоянии.

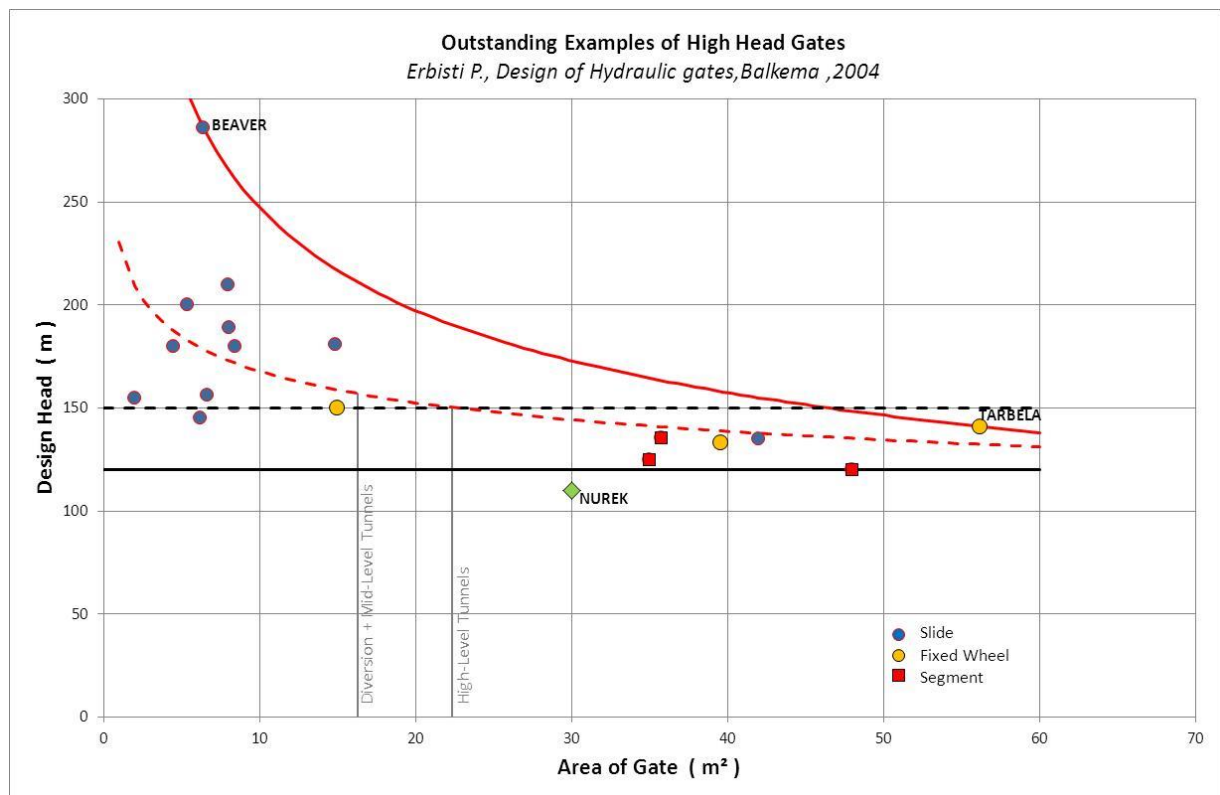


Рис. 4-1: Ситуация с критерием максимального напора среди существующих примеров

Был проведен анализ чувствительности к критерию максимального напора воды с рассмотрением так же максимального напора воды в 150 м, вместо 120 м. В этом случае было обнаружено следующее:

- Для самого высокого варианта плотины, ВССУ2 больше не требуется;
- Для среднего варианта, один ТБУ не является необходимым;
- Для самого низкого варианта, ВССУ1 заменяется ТБУ, который является тоннелем с меньшим диаметром.

Около 1.5% от общей стоимости Рогуна, может быть сэкономлено, рассматривая напор воды 150 м вместо 120 м.

Экономия очень ограничена по сравнению с возрастанием риска:

- Эксплуатационные осложнения ввиду напора в финальных водосбросных сооружениях (ТБУ);
- Увеличение зависимости от СТЗ, который пересекает Йонахшский разлом.

Поэтому Консультант рекомендует и рассматривает максимальный напор воды в 120 м, как критерий проектирования в данном ИТЭО. Оптимизация схемы будет сделана в любом случае на дальнейшем этапе исследования.

#### **4.1.3 Другое**

Пропускная способность турбин не учитывается в системе пропуска паводков. Естественно, во время высоких паводков машинный зал может быть выведен из строя; доступ к машинному залу может быть нарушен и т.д. Для турбин не гарантируется работа во время высоких паводков, поэтому они не рассматриваются в структуре контроля паводков.

Учитывается расчет трансформации паводковой волны с учетом аккумуляции части стока в водохранилище, кроме стадии перемычки, которая имеет очень ограниченное водохранилище. Гидрография взятая в расчет, является той что была определена в томе 2 – разделе 5, для МВП и паводка с повторяемостью 10,000 лет и пропорционально снижена для меньших паводков.

Рассматриваемый сброс (пропуск) воды ниже или в пределах пропускной способности Нурека. Таким образом не требуется «специальной» эксплуатации Нурека во время строительства Рогуна.

Сейсмические сдвиги в Йонахшском разломе являются метрическими. Не существует безопасных ремонтных решений для охвата такого рода смещений в тоннелях под высоким давлением. Никакая вероятность не может быть связана с этим событием. Но проект должен выдержать в случае его возникновения: защитное сооружение не должно обвалиться. Это должно рассматриваться как экстремальный вариант.

## 4.2 Схема ИГП по перекрытию реки

### 4.2.1 Описание

Согласно схеме ИГП, от перекрытия реки до завершения основной плотины, используются 6 различных сооружений для отвода и сброса паводков:

- Строительный тоннель 1-го уровня (СТ1)
- Строительный тоннель 2-го уровня (СТ2)
- Строительный тоннель 3-го уровня (СТ3)
- Эксплуатационный тоннель 3-го уровня (ЭТ3)
- Глубинный водосброс
- Эксплуатационный шахтный водосброс (ЭШВ). Глубинный водосброс и эксплуатационный шахтный водосброс разделяют один и тот же низовой тоннель и выходной портал.

На следующем рисунке представлено расположение и отметки входных порталов различных отводных и водосбросных сооружений.

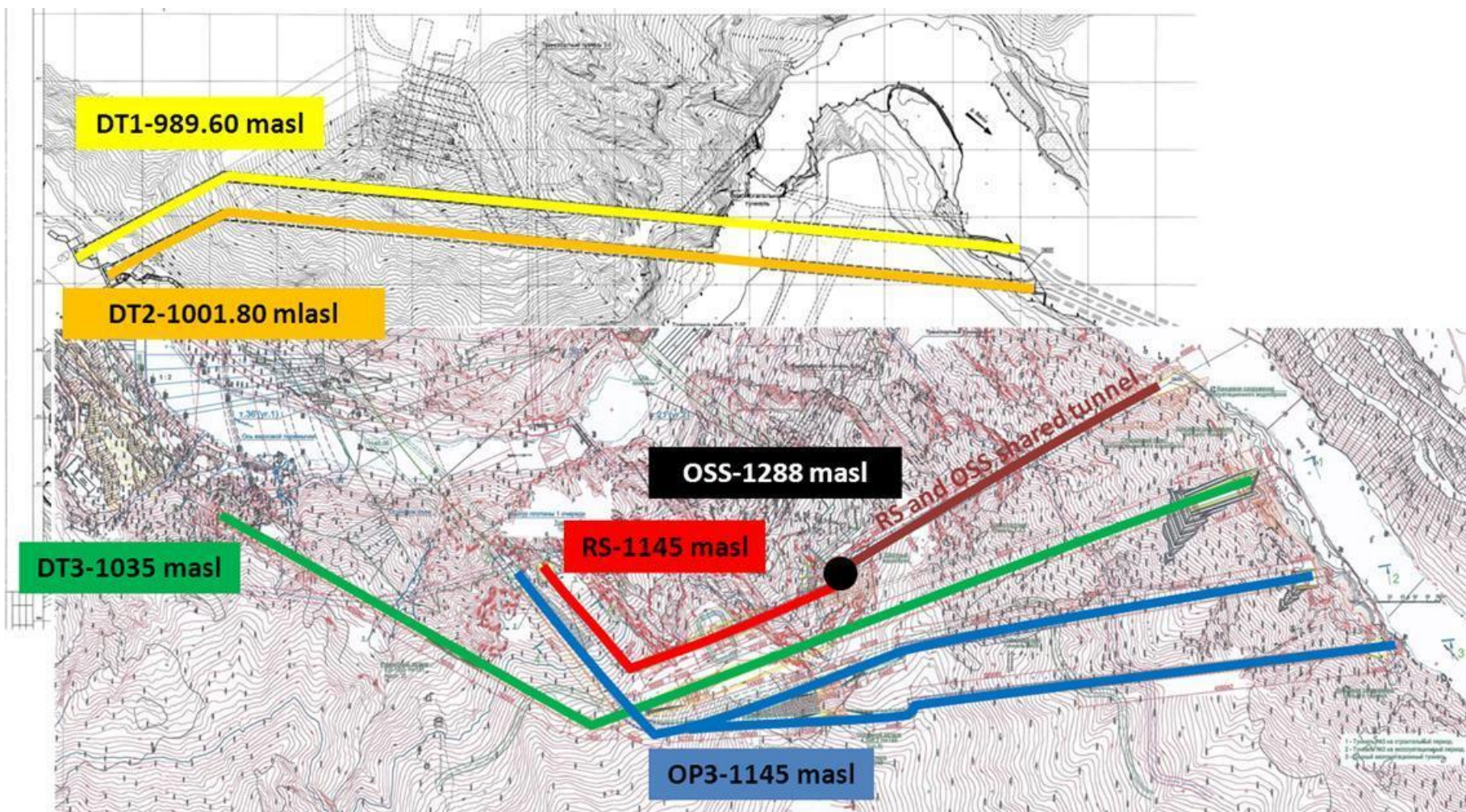


Рис. 4-2: Рис. – Отводящие и водосбросные сооружения – схема ИГП

В начале работ строительная площадка защищена перемычкой с гребнем на 1035 м.н.у.м. Только СТ1 и СТ2 отводят поток реки. Пропускная способность обеих тоннелей должна быть 2900 м<sup>3</sup>/с с отметкой воды на уровне 1033 м.н.у.м., как это указано на чертеже ИГП 2010 года.

В то время как плотина первой очереди защищает строительную площадку, СТ1, СТ2 и СТ3 отводят воду из реки. На этой отметке (уровень воды на 1100 м.н.у.м.), общая пропускная способность всех трех тоннелей равна 7100 м<sup>3</sup>/с.

Между 1110 и 1145 м.н.у.м., СТ2 и СТ3 обеспечивают отвод реки. Пропускная способность СТ2 ограничена 1800 м<sup>3</sup>/с из-за закрытия некоторых его затворов.

Между 1145 и 1185 м.н.у.м., СТ2, СТ3 и глубинный водосброс обеспечивают отвод реки.

Выше 1185 м.н.у.м. отвод реки и пропуск паводков обеспечивается окончательными водосбросными сооружениями: ЭТЗ, глубинный водосброс и эксплуатационным шахтным водосбросом. Они могут пропустить 7100 м<sup>3</sup>/с при отметке воды 1290 м.н.у.м.

#### **4.2.2 Оценка**

Тщательный анализ схемы ИГП, представленный в Приложении 5 приводит к следующим комментариям:

##### *По фазе перемычки*

Как и в любом проекте ИГП, пропускная способность во время этой фазы равна 2900 м<sup>3</sup>/с, т.е. паводок с повторяемостью 7 лет.

Более того, рассматривая состояние строительных тоннелей 1 и 2, и обеспечение восстановительных работ, уровень защиты снижается до 2650 м<sup>3</sup>/с с уровнем воды на отм. 1035 м.н.у.м., т.е. возвратный период менее, чем 5 лет. Учитывая срок службы перемычки в 2 года, это дает риск 1/2.5. Этот уровень защиты неприемлем для перемычки.

##### *По плотине 1-й очереди*

Как и в любом проекте ИГП, плотина первой очереди защищена от МВП. Этот уровень защиты был соответствующим, когда первая очередь рассматривалась как автономный проект. Сейчас, после того как этот вариант был отвергнут, уровень защиты первой очереди может быть снижен.

##### *Между 1 очередью и отметкой 1185 м.н.у.м.*

Когда уровень водохранилища поднимается до 1110 м.н.у.м., СТ2 и СТ3 способны пропустить 4400 м<sup>3</sup>/с, если пропускная способность СТ2 ограничена как было объявлено и 5200 м<sup>3</sup>/с если полностью открыть.

Когда уровень водохранилища на 1185 м.н.у.м. напор воды поддерживаемый водоприемником равен 183 м, напор воды, поддерживаемый упорным брусом затвора равен 199 м. И напор воды, поддерживаемый СТ3 равен 150 м. Эти значения гораздо выше ограниченного значения для нормальной эксплуатации во временных сооружениях по мнению Консультанта.

На уровне 1185 м.н.у.м. у СТ2, СТ3 и глубинного водосброса общая пропускная способность равна 6400 м<sup>3</sup>/с и половина этого пропускаемого потока проходит через СТ3.

С первой очереди до отметки водохранилища 1185 м.н.у.м., безопасность в основном зависит от СТ3, который пересекает Йонахшский разлом.

*Над отметкой 1185 м.н.у.м.*

Над уровнем 1185 м.н.у.м., финальные водосбросные сооружения обеспечивают отвод реки. На этой отметке ЭТ №3 и глубинный водосброс способны пропустить 4650 м<sup>3</sup>/с, т.е. меньшая пропускная способность, чем в предыдущей фазе.

После завершения плотины, ЭТ3 и глубинный водосброс возможно смогут выдерживать напор в 145 м, который больше, чем ограничение установленное Консультантом для этого типа сооружений.

### **Выводы**

Согласно критериям Консультанта, несколько пунктов не являются полностью безопасными:

- Уровень защиты перемычки недостаточен;
- Напор воды, который должны выдерживать все сооружения (временные или окончательные) слишком высок;
- Не указана особенность Йонахшского разлома и не предлагается никаких мер для того, чтобы справляться с его сдвигами, в то время как существует значительный строительный период высокой зависимости от СТ3.

Поэтому Консультант предлагает другую схему управления паводка, которая детально освещена в следующих параграфах.

## **4.3 Управление отводом реки**

Различные отводящие сооружения рассмотренные в ИТЭО являются следующими:

- Строительный тоннель 1 и 2 (СТ1 и СТ2);
- Строительный тоннель 3 (СТ3);
- Водосбросное сооружение среднего уровня 1 и 2 (ВССУ №1 и ВССУ №2);
- Тоннели верхнего уровня 1, 2 и 3 (ТВУ1, ТВУ 2 и ТВУ 3).

### **4.3.1 Перемычка**

Расчетный паводок, рассматриваемый для перемычки имеет вероятность возникновения 1/50, т.е. возвратный период в 100 лет. Гребень перемычки находится на уровне 1050 м.н.у.м. Расчетный паводок пропускается при помощи СТ1, СТ2 и СТ3.

Отметка перемычки может быть понижена при более высокой пропускной способности существующих СТ1 и СТ2, которая была обозначена проектировщиком, может быть подтверждена в ходе исследований модели; в любом случае, существующая строительная ситуация должна быть проверена.

Низовая перемычка этой стадии является перемычкой сразу после водоводной галереи СТ через реку. Для рассматриваемого расчетного паводка (паводок с 100-летним возвратным периодом), уровень воды равен 992.7 м.н.у.м. и поэтому гребень низовой перемычки должен быть 994 м.н.у.м.

Если СТ3 будет выведен из строя из-за сдвига Йонахшского разлома, перемычка будет защищена только от паводка с 10-летним возвратным паводком (риск 1/5). В случае более высокого паводка, будет перелив перемычки. Поэтому проблемы с СТ3 скорее всего приведут к прорыву перемычки. Этот прорыв будет слит в Нурек, так как объем водохранилища перемычки ограничен (приблизительно 55 тыс. м<sup>3</sup>) и представляет 50 см Нурекского водохранилища.

Событие сейсмического смещения в течении двух лет срока службы перемычки в дополнение к паводку с более чем 10-летним возвратным периодом маловероятно. Последствиями будет уничтожение перемычки и всех текущих работ, но не будет иметь никаких последствий после нижнего бьефа Нурека. Это рассматривается как приемлемый риск для Консультанта.

#### **4.3.2 Первая очередь**

Расчетный паводок рассматриваемый для плотины первой очереди является паводком с вероятностью возникновения 1/100. Это соответствует паводку с 450-летним возвратным периодом для первой очереди при отм. 1110 м.н.у.м. и 1090 м.н.у.м. и паводок с 300-летним возвратным периодом для первой очереди на отм.1075 м.н.у.м. Эти расчетные паводки пропускаются через СТ1, СТ2 и СТ3.

Низовая перемычка этой стадии является нижним бьефом окончательной подошвы плотины. Для рассматриваемого расчетного паводка уровень воды равен 984.2 м.н.у.м., поэтому гребень низовой перемычки должен быть 986 м.н.у.м.

Если СТ1, СТ2 или СТ3 будут выведены из строя, защита все еще обеспечивается для самой высокой первой очереди. Для двух более низких вариантов, ожидается массивный перелив в случае 1/100 вероятности возникновения паводка.

Тем не менее, в случае выведения из строя СТ3, первая очередь с гребнем на отм. 1090 м.н.у.м. все еще остается защищенной от паводка с 400-летним возвратным периодом (риск 1/90), который приемлем, так как это исключительная ситуация: комбинация двух редких событий.

Для первой очереди с гребнем на отм. 1075 м.н.у.м. и в случае выхода из строя СТ3, плотина все еще защищена от паводка со 120-летним возвратным периодом (риск 1/50).

Консультант считает это приемлемым риском.



### 4.3.3 Завершение основной плотины

С отм. 1100 м.н.у.м. расчетный паводок пропускается при помощи СТЗ и водосбросного сооружения среднего уровня №1. Строительный паводок, рассматриваемый для фазы завершения основной плотины является паводком, с 1/200 вероятностью возникновения.

Для самого высокого варианта плотины (1290 м.н.у.м.) СТЗ выводится из эксплуатации на отм. воды 1160 м.н.у.м. С 1160 м.н.у.м до 1215 м.н.у.м. расчетный паводок пропускается водосбросными сооружениями среднего уровня №1 и №2. С 1215 до 1270 м.н.у.м. расчетный паводок пропускается водосбросным сооружением среднего уровня №2 и тоннелем верхнего уровня №1. С 1270 м.н.у.м. и до завершения строительства расчетный паводок пропускается тоннелями верхнего уровня №1 и №2.

Для среднего варианта плотины (1255 м.н.у.м.) СТЗ выводится из эксплуатации на отм. воды 1170 м.н.у.м. С 1170 м.н.у.м до 1210 м.н.у.м. расчетный паводок пропускается водосбросным сооружением среднего уровня №1 и тоннелем верхнего уровня №1. С 1210 м.н.у.м. и до завершения строительства расчетный паводок пропускается тоннелями верхнего уровня №1, №2 и №3.

Для низкого варианта плотины (1220 м.н.у.м.) СТЗ выводится из эксплуатации на отм. воды 1165 м.н.у.м. С 1165 м.н.у.м. и до завершения строительства расчетный паводок пропускается водосбросным сооружением среднего уровня №1 и тоннелем верхнего уровня №1.

Низовая перемычка закладывается в низовую подошву плотины. Для рассматриваемого расчетного паводка (паводок с 700-, 1000 или 1600-летним возвратным периодом, в зависимости от вариантов), уровень воды равен 984.4 м.н.у.м., 984.5 м.н.у.м. или 984.6 м.н.у.м. в зависимости от варианта и поэтому гребень низовой перемычки должен быть на отм.986 м.н.у.м.

В случае сейсмического движения Йонахшского разлома, тоннели СТЗ и водосбросное сооружение среднего уровня №1 могут быть выведены из строя.

Можно избежать риска выхода из строя водосбросного сооружения среднего уровня №1 путем проектирования специфичного водоприемника, который не пересекает Йонахшский разлом: тоннель входит в берега после разлома, и водоводная галерея, которая пересекает разлом проводит воду из водохранилища в тоннель (см. чертеж №40 114). Внутреннее сечение водовода D-образное, 18 м в диаметре, с нижними желобами и должен быть спроектирован таким образом, чтобы выдерживать максимальную засыпку плотины над его сводом (около 35 м) и сильные сейсмические эффекты. Сооружение разделено на сегменты около 25-30 м, первый из которых пролегает над Йонахшским разломом. В случае сдвигов разлома, сегмент также может быть сдвинут и по отношению правильного входа портала тоннеля в правый берег и по отношению к прилегающему верховому сегменту, остающимся вне разлома, но не должен обвалиться и гидравлическое соединение между водоприемником и правильным тоннельным порталом должно поддерживаться.

Не существует осуществимых решений для предотвращения пересечений СТЗ Йонахшского разлома. Могут быть реализованы меры для снижения последствий на месте участка разлома для выдерживания хотя бы эффекта просачивания воды и умеренных сдвигов. Вероятность возникновения и высокого паводка и сильного

землетрясения, способного обрушить СТЗ в течение срока службы СТЗ ограничена. Этот риск принимается Консультантом.

### Синтез

Все вышесказанное было синтезировано в 2 иллюстрированных скетчах для каждого варианта плотины и одного графика для водопропускной способности.

Первый представляет эксплуатационный диапазон каждого сооружения по оси уровня воды. Черные линии показывают нормальный эксплуатационный диапазон, и пунктирные линии представляют дополнительный эксплуатационный диапазон. Он отображает отметку воды при которой каждый тоннель должен быть введен/выведен из эксплуатации (нижняя и верхняя крайние точки).

Второй представляет уровень защиты, эксплуатационные сооружения и максимальный уровень воды в течение всего строительного периода.

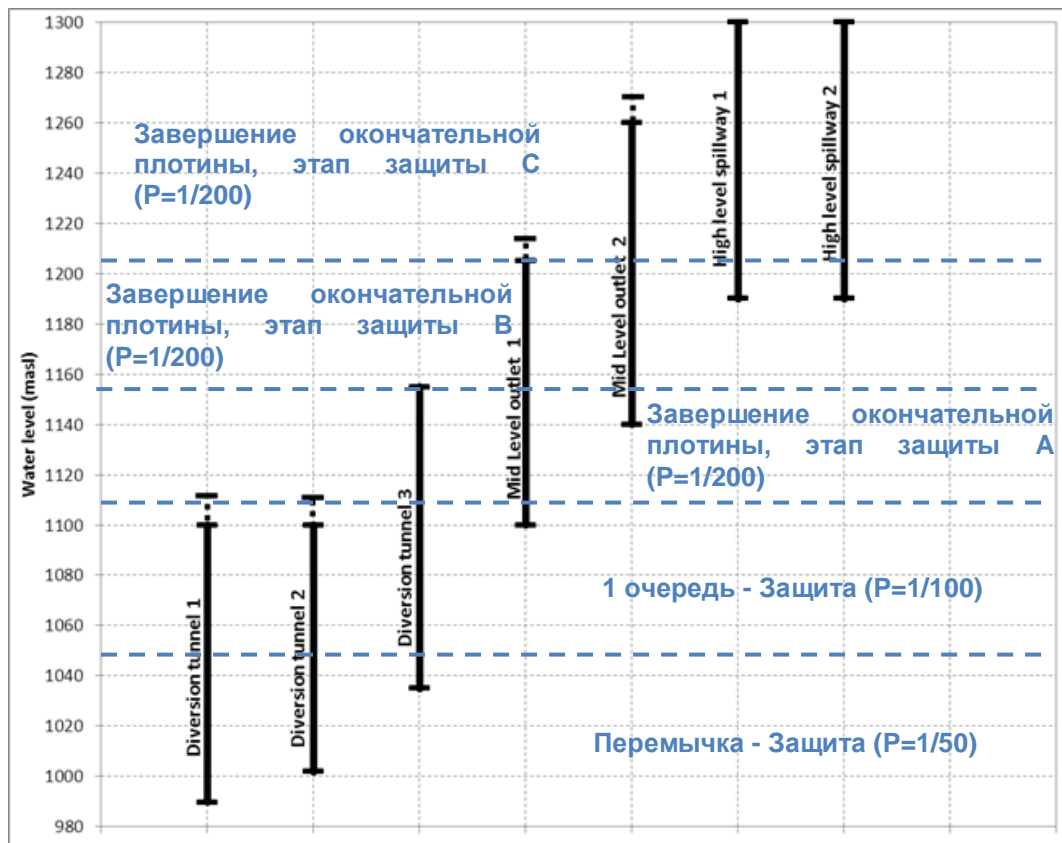


Рис. 4-3 : НПУ = 1290 н.м.у.м. – Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений

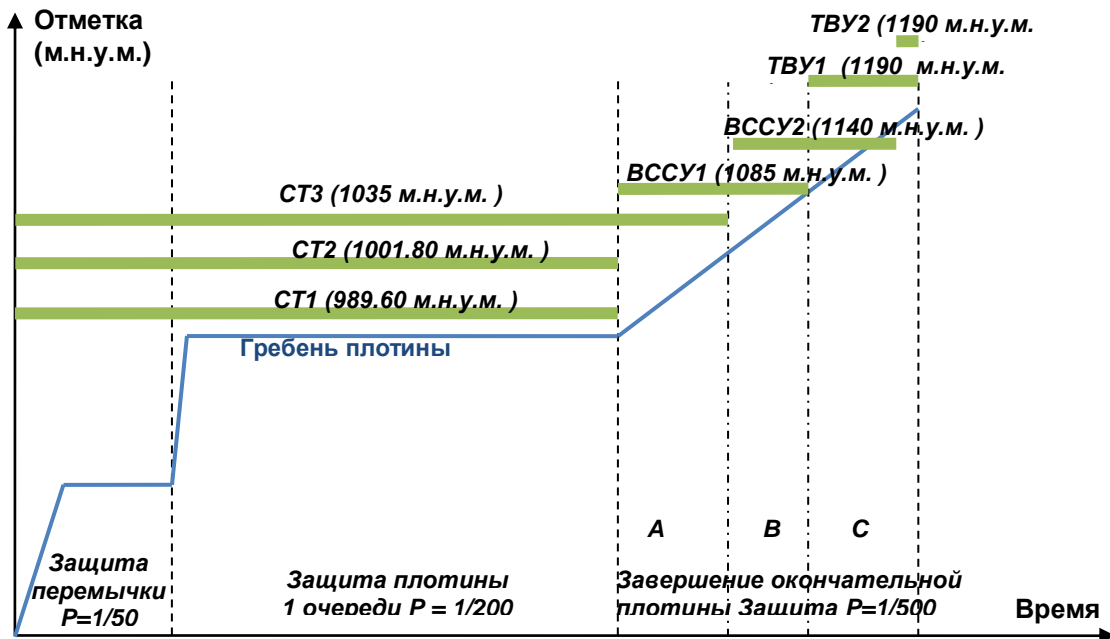


Рис. 4-4 : НПУ = 1290 м.н.у.м. – Рис. отвода по времени

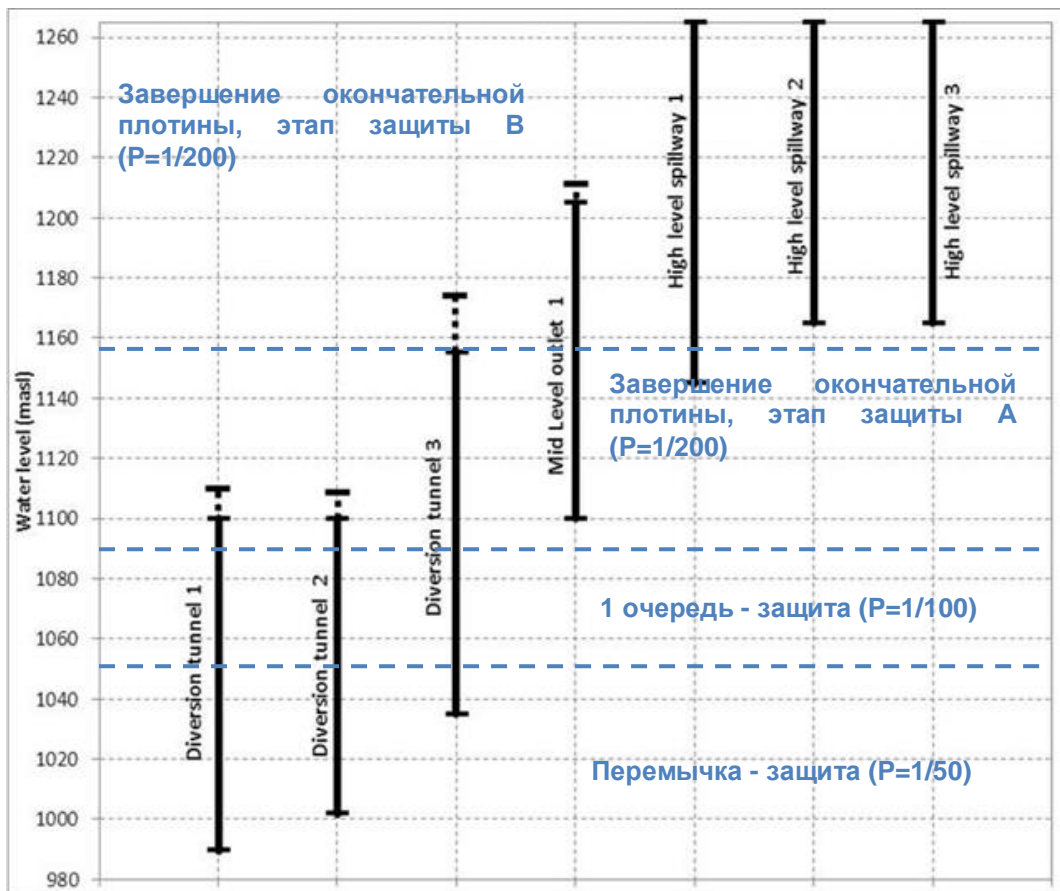


Рис. 4-5 : НПУ = 1255 м.н.у.м. - Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений

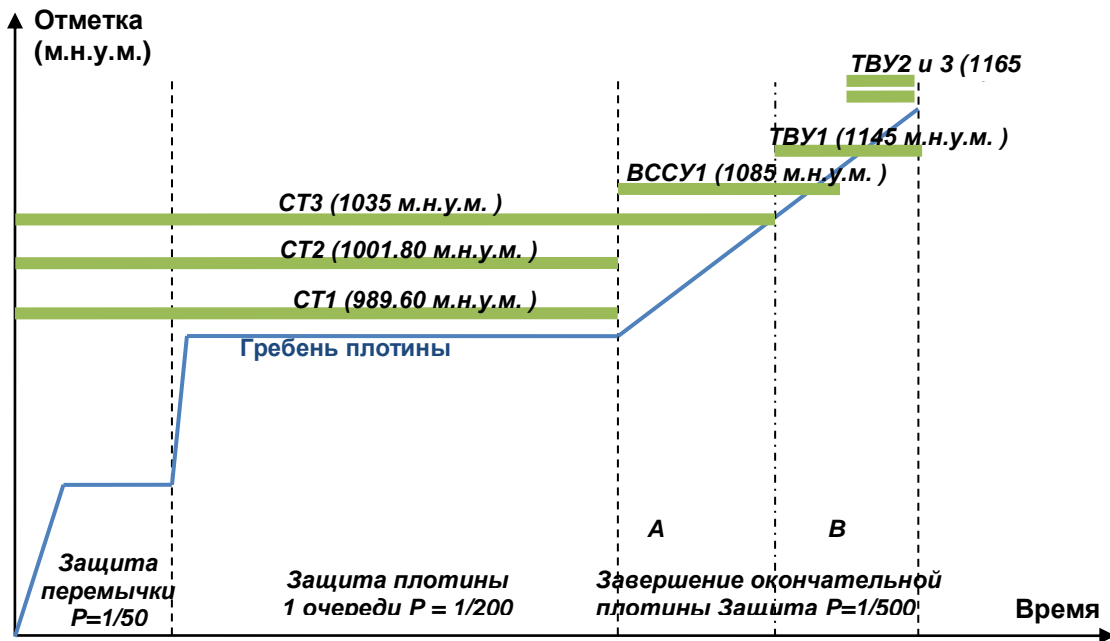


Рис. 4-6 : НПУ = 1255 м.н.у.м. - Рис. отвода по времени

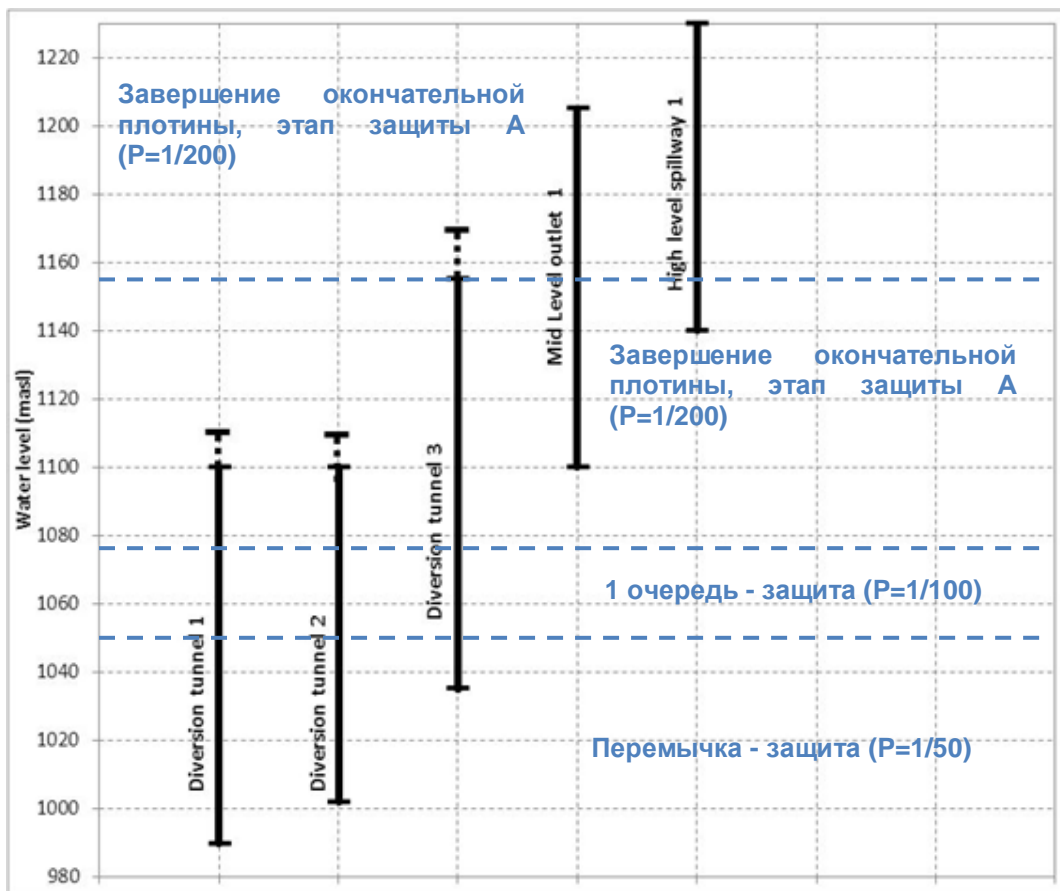


Рис. 4-7 : НПУ = 1220 м.н.у.м. - Эксплуатационный диапазон отводящих сооружений

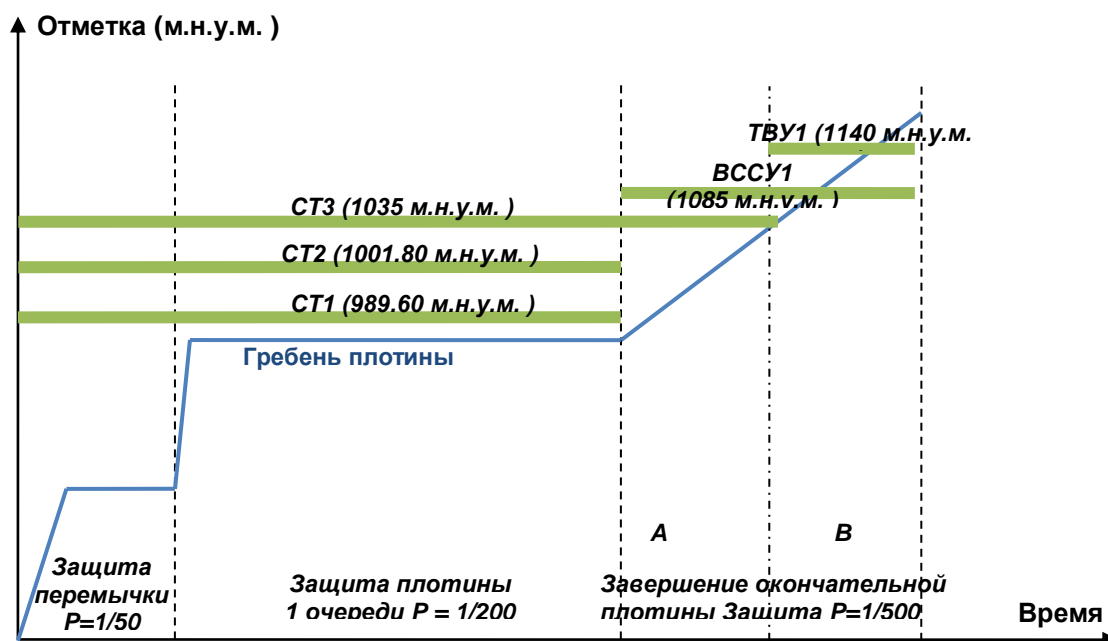


Рис. 4-8 : НПУ = 1220 м.н.у.м. - Рис. отвода по времени

#### 4.4 СТ1 и СТ2

Существующие строительные тоннели 1-го и 2-го уровня пролегают параллельно, на расстоянии от 45 до 58 м между осями, их водоприемники расположены уть выше по течению от пред-перемычки, недалеко от водоприемника подводящего тоннеля первой очереди, отметка их лотковой части установлена на 989.6 м.н.у.м. для тоннеля №1 и 998.8 м.н.у.м. для тоннеля №2.

Чтобы предотвратить попадание донных наносов, предусматривается короткий начальный период эксплуатации, когда фронтальные приемники будут закрыты, и вода будет попадать через трапециевидальные отверстия крыши водоприемных сооружений на отм. 1,020 м.н.у.м. Низовые участки тоннелей будут использоваться как безнапорные отводные тоннели для пропуска потока, использованного для выработки электроэнергии. Они будут заложены чуть выше соединений с двумя тоннелями-коллекторами, каждый из которых связан с отсасывающими трубами трех агрегатов.

Поскольку согласно технической оценке тоннелей, содержащейся в отчете первой фазы был сделан вывод, что тоннели в текущем состоянии не подходят для целей, для которых они были спроектированы, необходимы подходящие меры для улучшения их структурной устойчивости.

Рекомендуемые проектные мероприятия включают внедрение схемы пассивных анкеров, дренажную систему и дополнительную армированную бетонную обделку, как минимум 30 или 40 см на своде, минимум 50 см на лотковой части, в подковообразной форме.

Последнее мероприятие приводит к снижению площади внутреннего сечения, что впоследствии приводит к потере напора вдоль напорных участков тоннеля от

водоприемника до участка затворов, таким образом влияя на водопропускную способность тоннелей в некоторой степени. Пересмотренная кривая расхода, рассчитанная консультантом, показывает, что после строительства новой обделки, каждый тоннель может пропускать поток около 1,325 м<sup>3</sup>/с на отм. 1,035 м.н.у.м. и 1,525 м<sup>3</sup>/с на отм. 1,050 м.н.у.м.

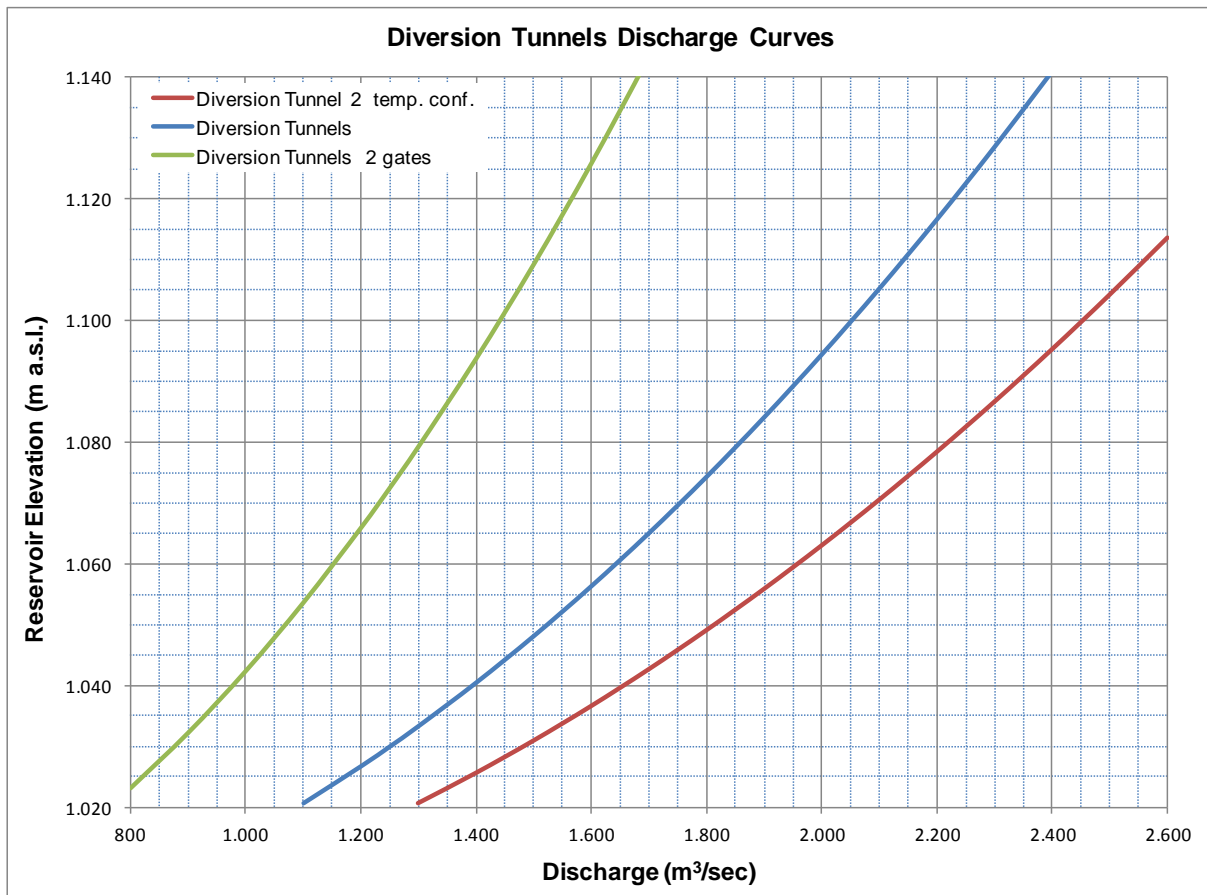
Таким образом, общая пропускная способность обоих тоннелей будет 2,650 и 3,050 м<sup>3</sup>/с на отм. 1,035 и 1,050 м.н.у.м. соответственно.

Следует отметить, что вышеуказанные значения были вычислены основываясь на финальных конфигурациях тоннелей, т.е. фронтальные приемники закрыты и всё электромеханическое оборудование установлено.

Если взять ситуацию, в которой в СТ2 сегментные затворы еще не установлены и приемник больше, чем финальный (общая площадь сечения трех приемников около 79 м<sup>2</sup> вместо 61 м<sup>2</sup>), эти цифры становятся 1,575 м<sup>3</sup>/с на отм. 1,035 м.н.у.м. и 1,810 м<sup>3</sup>/с на отм. 1,050 м.н.у.м., таким образом общая пропускная способность для обоих тоннелей на одинаковых отметках достигает 2,900 и 3,335 м<sup>3</sup>/с соответственно.

Эта ситуация берется в расчет ИГП во время первого года после перекрытия реки.

Кривые расхода показаны ниже, на графике.



С другой стороны, анализ гидравлического поведения этих тоннелей, приводимый в концептуальном проекте плотины 1-й очереди (июль, 2011 г.), привел к рекомендации

ограничения их пропускной способности, чтобы предотвратить проблемы из-за возникновения гидравлических прыжков внутри низовых участков тоннелей. В этой связи было отмечено, что для потоков порядка  $1,500 \text{ м}^3/\text{с}$  возникает гидравлический прыжок примерно через 500 м после портала тоннеля, имея коэффициент заполнения тоннеля после такого же прыжка около 86%. Таким образом, чтобы оставаться в пределах диапазона безопасной и надежной эксплуатации, пропущенный поток не должен быть гораздо больше, чем вышеуказанная цифра.

Из гидравлических испытаний, проведенных в гидравлической лаборатории в Москве, результаты которых описаны в отдельном отчете, для наивысших проанализированных потоков (около  $1600 \text{ м}^3/\text{с}$ ), был зафиксирован подъем давления воды внутри тоннелей около соединения с коллекторами машинного зала. Это может быть последствием того, что воздушно-водяная пена поднимается в аэрационные шахты до отм над постоянным тоннелем Т-8.

Согласно специалистам гидравлической лаборатории, было бы целесообразно держать эту шахту заглушенной, пока тоннели используются как водосбросные сооружения, так как аэрация в любом случае предоставляется сразу после сегментных затворов. Во-вторых аэрационные шахты были спроектированы в основном для финальной очереди, когда строительные тоннели будут заглушены чуть выше соединения с отсасывающими трубами коллекторов и будут использоваться только как отводящие тоннели.

Следует отметить, что эта ситуация в основном вызвана тем фактом, что материал, нанесенный на нижнем бьефе после порталов строительных тоннелей, последовавший после прорыва перемычки и селевого потока из сая Оби-Шур изменил кривую расходов в этой территории, поэтому возникают текущие более высокие отметки воды, чем ожидалось в первоначальном проекте.

Таким образом, следующее является эксплуатационными диапазонами и условиями для эксплуатации двух строительных тоннелей:

- До отм. 1,035 м.н.у.м. тоннели могут эксплуатироваться со всеми открытыми затворами, имея максимальную пропускную способность равную  $2,650 \text{ м}^3/\text{с}$  для окончательной конфигурации (с полностью установленным оборудованием) и  $2,900 \text{ м}^3/\text{с}$ , в случае если СТ2 будет эксплуатироваться по временной конфигурации, без сегментных затворов и площадью приемников около  $79 \text{ м}^2$ ;
- С 1,035 до 1,050 м.н.у.м. СТ2 также должен эксплуатироваться согласно финальной конфигурации (сегментные затворы смонтированы, площадь приемников около  $61 \text{ м}^2$ ; максимальный общий расход равен  $3,050 \text{ м}^3/\text{с}$ .
- Выше отм. 1,050 м.н.у.м., при вышеуказанной конфигурации, потоки будут таковы, что могут возникнуть гидравлические прыжки. Поэтому необходимо восстановить первоначальные отметки речного русла, как минимум до такой степени, чтобы поток после затворов оставался сверхкритическим в течение всего тоннеля. Когда бы ни понадобилось, так же возможно ограничить потоки держа в закрытом состоянии один из трех затворов. Однако пропускаемый поток в таких условиях может быть недостаточным для целей контроля паводка.

Согласно проведенным исследованиям по управлению паводками, нужда в использовании водосбросных сооружений на различных отметках возникла как следствие предложенных критериев для безопасности работ во время строительства и ограничений в эксплуатации тех же сооружений.

На самом деле, согласно времени строительства и периоду, во время которого работы подвергаются риску паводков, необходимые водосбросные способности на разных отметках были установлены в вышеуказанных исследованиях.

Согласно вышеуказанным анализам, строительство строительного тоннеля уже предложенного ИГП было подтверждено как необходимость.

#### 4.5 Строительный тоннель №3

Согласно обновленной схеме проекта ИГП, последующий строительный тоннель был предусмотрен на правом берегу реки (строительный тоннель третьего уровня), чей водоприемник находится примерно в 300 м после порталов существующих тоннелей.

СТЗ был спроектирован ИГП в 2011 году и временная опора была спроектирована Тана Энерджи, Иран. В настоящее время, вдоль его верхового участка, на протяжении около 400 м проведен проходческие работы по своду, достигая начала верхового перехода предлагаемой камеры аварийно-ремонтных затворов. Строительство СТЗ было приостановлено ВБ в июле 2012, когда были разрешены только ремонтные работы по безопасности. Заказчик согласился внести улучшения в проект, предложенные консультантом ИТЭО в ходе строительства. Предполагается, что состояние проведенных работ такое, что любое изменение все еще может быть внесено.

Тоннель необходим для дополнения пропускной способности существующих строительных тоннелей, позволяя удовлетворить набор критериев для защиты плотины от паводков во время строительства.

Концепция этого тоннеля разделяется консультантом, и его расположение на правом берегу было частично подтверждено, с некоторыми изменениями в маршруте низового участка, необходимых для размещения различные гидросооружения, описанными в отчете по гидравлике.

Во время исследований, была оценена возможность найти альтернативный маршрут для СТЗ на левом берегу, с целью предотвращения Йонахшского разлома.

Ввиду присутствия существующих тоннелей и сооружений, водоприемник должен быть расположен выше по течению от существующих водоприемников СТ1 и СТ2 и маршрут окруженный существующими сооружениями должен достигнуть речного русла ниже соединения с саям Оби-Шур. На самом деле, ввиду взаимного влияния с различными сооружениями и неблагоприятной морфологии и геологии, нет никакого варианта для размещения выходного портала выше по течению от сая Оби-Шур.

В любом случае, если предотвратить прохождение через Йонахшский разлом, тоннель проходит через несколько других разломов, среди которых разлом №35, который в любом случае требует внедрения мер для выдерживания возможных различных



смещений. Так же критично пересечение сая Оби-Шур, ввиду отметки речного русла, которое может потребовать адаптацию конкретных строительных технологий. Альтернативный вариант гораздо выше по течению вдоль по речному руслу может улучшить условия пересечения, но это будет гораздо более длинный маршрут, с последующими более высокими затратами и временем строительства.

Верховой участок СТ3 был расположен на том же месте, предложенном ИГП и была принята такая отметка водоприемника, т.е. 1,035 м.н.у.м., в то время как низовая часть была перенаправлена, из-за необходимости иметь пространство для оставшихся гидравлических сооружений.

Тоннель приблизительно 1,550 м в длину и достигает правого берега реки после подошвы плотины на 200 м расстоянии от выходного портала СТ2, таким образом возможное размывание речного русла не должно влиять на сооружения такого рода.

Напорный эксплуатационный участок тоннеля с круговым сечением 15.0 м в диаметре, около 810 м в длину, до камеры сегментных и аварийных затворов. Ниже после этой камеры, было принято подковообразное сечение 14.5 м в ширину и 9.75 м в лотковой части, с круговым арочным сводом, достигающим максимальной высоты в 17.0 м.

Следует отметить, что тоннель пересечет оба разлома, и Йонахшский и разлом № 35, примерно в 700 м от его водоприемника и около 100 м перед выходным порталом.

Поэтому были проведены меры в соответствии с обоими разломами, чтобы противостоять сдвиговым эффектам и/или возможным крупным сдвигам в случае землетрясений.

Меры в основном состоят из внедрения очень толстой армированной бетонной обделки разделенной на короткие участки (кольца) вдоль сдвиговой зоны и нескольких метров, превышающих ее в обе стороны: в случае различных движений, кольца могут сместиться, но из-за их прочной структуры, тоннель останется работоспособным. Для предотвращения немедленных последствий на внутренней поверхности тоннеля, «кольца» больше, чем текущее сечение примерно на 4.0 м в диаметре, и предусмотрена вторая внутренняя обделка с текущим сечения тоннеля. Пространство между двумя обделками заполнено ячеистым бетоном, который предоставляет поддержку для внутренней обделки и может поглощать часть смещений, так как пространства, представленные в его массе, допускают компрессию его объема.

Как следующая мера, первая камера затворов, расположенная на расстоянии примерно 460 м от водоприемника, как предложено, должна быть оборудована 4 колесными затворами, похожими на те, что установлены в камере аварийных затворов: эти затворы, с площадью около 30 м<sup>2</sup> каждый, могут эксплуатироваться при потоке с максимальным напором. Это позволяет в случае крупных смещений на участке разлома с повреждением внутренней обделки и блокирования низовых затворов, вывести тоннель из эксплуатации и провести ремонтные работы.

Что касается текущих сечений тоннелей, был применен консервативный подход для определения толщины, которая обычно 1/10 от внутреннего диаметра тоннеля или толще.

Тоннель должен эксплуатироваться в течении многих лет со сбросом уровня воды в водохранилище, для всех вариантов плотины, с максимальным напором в 150 м. Максимальная скорость потока при напорных условиях удерживается порядка 20 м/с, и свободный борт при достижении безнапорных условий выше, чем 25% от общей высоты тоннеля.

Так как скорость воды через приемники затворов порядка 41 м/с, участки соответствующие структурам затворов (прямоугольные водоводы) и часть переходных участков (5 м выше и 10 м ниже) было решено сделать стальную облицовку.

Так же, чтобы контролировать риски из-за кавитации, сразу после затворов была представлена аэрация и на своде камеры и везде вокруг затворов, за счет увеличения сечения и проектируя ступень в полу, что позволяет впускать воздух под струей.

Что касается выпуска воды на выходном портале тоннеля, учитывая маленькую разницы отметке между выходным порталом (1023.45 м.н.у.м.) и руслом реки, был спроектирован простой короткий желоб длиной около 90 м с носком отброса струи, расположенным на несколько метров выше уровня воды реки (1004.3 м.н.у.м.) для восстановления воды на нижнем бьефе плотины.

Соображения, связанные с диссипацией энергии и необходимостью в водобойном колодце, а так же возможные эффекты размывания содержатся в подробных расчетах, выполненных в отчете по гидросистеме.

Согласно расчетам по гидросистеме, выполненных Консультантом, такой тоннель способен пропустить около 1,325 м<sup>3</sup>/с с уровнем воды в водохранилище на отм.1,055 м.н.у.м. и 2,450 м<sup>3</sup>/с, когда вода достигает 1,100 м.н.у.м.

Все характеристики строительного тоннеля №3 остаются неизменными для всех вариантов плотины.

Тоннель останется в эксплуатации пока наносы не достигнут входа водоприемника, что может случиться через 7/10 лет; затем тоннель будет выведен из эксплуатации и заглушен.

## **4.6 ВССУ №1 и ВССУ №2**

### **4.6.1 Водосбросное сооружение среднего уровня №1**

Согласно результатам исследований, представленных в том 3 – раздел 3 – приложение 3 «Управление паводками во время строительства», водосбросное сооружение среднего уровня №1 требуется для всех вариантов плотины, для защиты плотины во время строительства, начиная с отм. воды 1100 м.н.у.м. Такая же отметка рассматривается как ограничения для нормальной эксплуатации СТ1 и СТ2, так как напор становится больше 120 м в такой ситуации. Однако они будут оставаться доступными в случае чрезвычайной ситуации (например СТ3 выйдет из строя из-за сдвигов на участке Йонахшского разлома), что заставляет нас использовать их для пропуска паводков.

Определение пропускной способности гидросооружений должно обеспечить защиту от паводков во время строительства плотины, основываясь на двух основных критериях:

- Максимальный приемлемый напор, который в нормальных условиях не должен быть выше 120 м и в чрезвычайных условиях допускается увеличение до 150 м;
- Тот факт, что хотя бы два тоннеля должны быть доступны на любой отметке.

Вышеуказанное привело к проектированию гидросооружений с похожими характеристиками для управления паводками во время строительства, поэтому, когда один выходит из строя, другой с такой же пропускной способностью заменяет его. Общая пропускная способность водосбросных сооружений была проверена в отчете по управлению паводками, учитывая критерии, установленных для защиты сооружений в зависимости от времени воздействия.

Общие характеристики тоннеля в ВССУ №1 в напорном участке, который контролирует пропускную способность тоннеля являются одинаковыми с СТЗ, будучи тоннелем с текущим круговым сечением в 15.0 м в диаметре. Отметка лотковой части в месте, соответствующем порталу равна 1085.0 м.н.у.м. Тоннель около 760 м длиной до камеры сегментных и аварийных затворов. Камера ремонтных затворов расположена на расстоянии около 360 м после конца водовода.

Схема водоприемника предусматривает бетонный водовод около 300 м в длину с поверхности верховой насыпи банка до портала подземного участка, таким образом тоннель начинается сразу после пересечения Йонахшского разлома. Такой водовод имеет внутреннее D-образное сечение, 18 м в ширину и 18 м в высоту, поэтому возможные сдвиги на участке Йонахшского разлома могут возникать без нарушения гидравлического маршрута тоннеля. Водовод состоит из коротких отрезков с толщиной стен около 3.5 м; это крепкое сооружение должно принять сдвиги и соответствующие движения без обрушений, таким образом поддерживая тоннель функционирующим.

Отметка выходного портала около 1075 м.н.у.м., что примерно на 100 м выше, чем речное русло: таким образом проблема возврата потока, который около 3700 м<sup>3</sup>/с, требует серьезного рассмотрения, для предотвращения нежелательных эффектов вымывания, которые могут повлиять на устойчивость берега.

Наиболее очевидное решение, состоящее из водоспуска с носком отброса струи было проанализировано, но отвергнуто из рисков кавитации. На самом деле следует учитывать, что скорость потока на участке сегментных затворов около 40м/с и что в течение короткого низового участка тоннеля до выходного портала скорость остается очень высокой. Поэтому поток достигает водоспуска с высокой энергией, которая будет увеличиваться на наклонном водоспуске, с последствием, что скорость воды будет достигать 50м/с у носка водоспуска. Эта цифра, вместе с удельным расходом порядка 105 м<sup>3</sup>/с/м (учитывая ширину носка отброса струи в 35 м) подразумевает риски кавитации и важные эффекты размывания.

Потому было проанализировано решение с камерами закручивания и шахтными водосбросами, которые позволяют рассеивать большой процент энергии, в то же время удерживая скорость в приемлемых пределах для гидросооружений.

Ввиду большого вовлеченного потока, он был разделен на два потока, что позволяет доставлять максимальный индивидуальный расход каждой шахты около  $1850 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Следует отметить, что таким образом поток на выходных порталах гораздо ниже и таким образом может быть достигнут лучший контроль за эффектами вымывания.

В дополнение к решению с вихревыми шахтами, были проанализированы другие возможные альтернативы, с целью уменьшить количество выходных порталов и таким образом точек воздействия на реку Вахш. В частности была оценена предполагаемая возможность использования каскадной системы на выходном портале поверхностного водосброса, состоящей и последовательности желобов и водобойных колодцев.

Это было признано осуществимым для ВССУ1, так как отметка выходного портала тоннеля на несколько метров выше, чем трамплин поверхностного водосброса. Последний был немного модифицирован, предоставляя дополнительный участок около 50 м в длину, между подошвой верхового желоба и финальной кривой. Таким образом, поток, пропускаемый ВССУ1 может расширяться от 12 м пролета тоннеля до полной ширины канала, и удельный поток становится равен около  $56 \text{ м}^3/\text{с}/\text{м}$ .

Так как скорость воды для расчетного потока около  $1840 \text{ м}^3/\text{с}$ , по существу, то же самое происходит, когда эксплуатируется поверхностный водосброс, т.е. около 40 м/с, гидравлическое поведение совместимо с анализом, проведенным для последнего сооружения, при этом воздействие на русло реки даже более благоприятное, ввиду более низкого удельного расхода.

Напорный участок тоннеля, с 15 м диаметром внутреннего сечения, разделяется на два круглых тоннеля с 10.8 м внутренним диаметром, каждый из которых оборудован камерой аварийных и основных затворов, проходя вдоль той же оси, что поверхностный водосброс и соединенных с двумя соответствующими каналами.

Этот решение было окончательно принято для ВССУ1, ввиду следующих преимуществ:

- Сниженное количество выходных порталов на левом берегу реки Вахш;
- Более низкий удельный поток на выходном портале и соответственно пониженное размывание речного русла;
- Предотвращено пересечение разлома №35 и других сдвиговых зон;
- Пролеты низовых сооружений (тоннели и камеры затворов) ниже чем те, что относятся к одиночному тоннелю, с последующим положительным влиянием на строительные работы и свойства конструкции.

Что касается текущего сечения обделки тоннеля, был применен консервативный одход для определения толщины, которая обычно 1/10 от внутреннего диаметра тоннеля или толще.

Все характеристики ВССУ №1 остается неизменными для всех вариантов плотины.

Рассматривая тот факт, что выходные порталы будут эксплуатироваться несколько лет во время строительства плотины, были приняты меры по предотвращению кавитации, предоставляя стальную облицовку поблизости от камер затворов и обеспечивая

соответствующую аэрацию после тех же контрольных затворов. Также, переходы от участков затворов до стандартного поперечного сечения достаточно постепенные, с углом поворота порядка 4°.

ВССУ должны эксплуатироваться в безопасных условиях, с расходом, связанным с уровнем воды в водохранилище для всех вариантов плотины, с максимальным исключительным напором 150 м. Максимальная скорость потока около камер затворов, работающая при напорных условиях была сохранена порядка 20 м/с, и надводный борт у камер затворов, работающих в безнапорных условиях является выше 25% общей высоты тоннеля.

Тоннель будет поддерживаться в рабочем состоянии как можно дольше, поэтому в случае необходимости, он может использоваться для сработки водохранилища.

В случае ВССУ1, предполагается срок службы от 12/15 до 25/30 лет, в зависимости от варианта НПУ, пока наносы не достигнут уровня водоприемника. На этой точке тоннель будет выведен из эксплуатации и заглушен навсегда.

#### **4.6.2 Водосбросное сооружение среднего уровня №2**

Возможность пропуска потока в поверхностный водосброс была также проанализирована для этого гидротехнического сооружения. Это означало бы разделения тоннеля на два ответвления, как для ВССУ1, в результате чего один из них проходил через третий канал поверхностного водосброса, в то время как для двух оставшихся требуется дополнительный отдельный каскадный водосброс. Однако в этом случае выходной портал тоннеля находится на отм. около 1130 м.н.у.м., соединение возможно только с нижним водобойным колодцем. Учитывая необходимость предоставления расширения для потока и условия, необходимые для формирования гидравлического прыжка, было признано, что доступное место недостаточно.

Поэтому для ВССУ2 было принято решение с вихревыми шахтами.

Водоприемник водосбросного сооружения №2 расположен на отм. 1140 м.н.у.м. и напорный тоннель представляет круговое сечение 15.0 м в диаметре. Этот тоннель пролегает на 750 м между водоприемником и камерой сегментных и аварийных затворов. Камера ремонтных затворов расположена на расстоянии 400 от водоприемника. Ниже от камеры сегментных и аварийных затворов было принято прямоугольное сечение 15.8 м в ширину и лотковой частью 9.1 м в высоту, с круговым сводом достигая максимальной высоты в 17.0 м, как и в ВССУ №1. Так же сечение разделено на две половины стеной толщиной 1.80 м, каждая половина течет в шахтный водосброс.

Предложенное решение состоит из верхней вихревой камеры, в которой эффект кручения передается потоку, следом идет шахтный водосброс, который сбрасывает в реку через безнапорный отводящий тоннель, оборудованный желобом и носком отброса струи («трамплином»).

Признается, что принимая вихревую шахту, риски эрозии из-за наносов, транспортируемых потоком возрастают, ввиду эффекта кручения потока вдоль

шахтного водосброса и отводящих тоннелей. Однако этот риск был рассмотрен как приемлемый, когда была проанализирована проблема рассеивания энергии на выходном портале и возможные последствия.

Применение вихревых шахт становится все более частым, и никаких сообщений о недостатках в связи с их поведением не было, даже если отметить, что существующие прототипы естественно не работают под такими высокими потоками, как предполагается в Рогуне.

Консультант считает, что при соответствующем исследовании модели, такое решение может быть принято для Проекта.

Следует отметить, что были сделаны меры предосторожности на пересечении отводящих тоннелей с разломом №35 и другими сдвиговыми зонами, для допущения небольшого сползания или незначительных смещений, как уже было сделано в случае СТЗ.

Также в этом случае сооружение состоящее из «колец» очень толстой, мощной армированной бетонной обделки предусмотрено вдоль участка, немного длиннее, чем развитие разлома. Для предотвращения немедленной отдачи на внутренней поверхности тоннели, «кольца» больше, чем текущее внутреннее сечение примерно на 3.0 м в диаметре и предусмотрена вторая бетонная облицовка, соответствующая текущему сечению тоннеля. Расстояние между двумя обделками заполнено ячеистым бетоном, который обеспечивает поддержку внутренней обделки.

Для ВССУ №2, расход воды достигает 3710 м<sup>3</sup>/с при максимальном исключительно напоре в 150 м, в то время как отдельный поток каждого равен 1855 м<sup>3</sup>/с.

Геометрические характеристики, режимы эксплуатации и меры принятые для ВССУ №2 точно такие же, как и в ВССУ №1, с единственной разницей более высокого напора шахтного водосброса.

Ориентировочный срок службы ВССУ2, пока наносы не достигнут его водоприемника около 50/55 лет. Оно должно поддерживаться в эксплуатационном состоянии как можно дольше, будучи необходимым для контролирования паводков в долгосрочной перспективе, во время эксплуатации станции при варианте с НПУ 1290 м.н.у.м. Когда наносы не позволят его использовать, оно будет навсегда заглушено. На этой точке, должен быть построен дополнительный модуль поверхностного водосброса, для замены пропускной способности ВССУ2.

## **5 ВОДОСЛИВНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

### **5.1 Специфические критерии проектирования**

Паводки, рассматриваемые для защиты Рогунской плотины, какой бы из вариантов не был выбран являются МВП и паводок с 10000-летним возвратным периодом, как указано в критериях проектирования.

Анализ вероятности паводков на реке Вахш на створе Рогунской ГЭС (отчет по гидрологии RP-07 редакция d, январь 2013 года) дает следующие результаты максимального дневного и пикового расхода для двух расчетных паводков.

Возвратный период	Пик м <sup>3</sup> /с	Дневной м <sup>3</sup> /с
10 000 лет	5970	5690
МВП	8260	7770

**Таблица 5-1 : Пиковый и дневной максимальный расход**

Предполагается N водосбросов в виде канала и n затворов для поверхностного водослива (для n=0, поверхностный водосброс является безнапорным водосливом):

- Для паводка с 10000-летним возвратным периодом либо с N-1 orifice spillways или с n-1 затворами поверхностных водосбросов (n-2 если количество затворов больше 6), максимальный уровень воды не должен быть больше контрольного уровня минус общий сухой надводный борт. Следует отметить, что это тоннель наибольшим ожидаемым расходом, который должен рассматриваться как не находящийся в эксплуатации.
- Для МВП, с N водосбросов в виде канала и n затворов поверхностного водослива, максимальный уровень воды не должен быть больше контрольного уровня минус общий сухой надводный борт.

Дополнительно учитываются несколько принципов безопасности:

- МВП является исключительным чрезвычайным событием, во время которого доступ к электростанции будет опасен или недоступен. Поэтому турбины не могут рассматриваться как пропускные сооружения в общей пропускной способности Рогуна. Только выделенные водосбросные сооружения будут рассматриваться для пропуска МВП. Этот подход обычно применяется на других проектах спроектированных Консультантом.
- Согласно практике консультанта рекомендуется не полагаться только на водосбросные тоннели: они могут быть предметом эксплуатационных и обслуживающих проблем и они не являются гибкими по отношению к любому изменению сверх проектного расхода. Естественно они с трудом будут пропускать дополнительный поток, когда вода поднимется больше, чем ожидалось. Это дает важное ограничение для водосливной системы, допуская маленькую неопределенность вокруг принятого проектного потока и маленькую возможность адаптации системы к будущим трендам в расчетных паводках (изменение климата...).
- Максимальный напор воды в тоннеле должен быть ограничен 120 м, как уже было сказано в 4.1.2.
- Все водосбросные сооружения должны быть независимыми: одно чрезвычайное происшествие на одном из них не должно влиять на любое другое сооружение.

- Тоннели, пересекающие разломы могут быть повреждены из-за движения разломов во время сильных землетрясений или аккумуляции воды. Это может привести к недоступности этого тоннеля. Поэтому рекомендуется предотвращать пересечение разломов насколько это возможно и принимать специальный проект, когда невозможно предотвратить такое пересечение, для удерживания части смещений и поддержания целостности сооружения.

## 5.2 Водосбросные сооружения ИГП

### 5.2.1 Описание

Это подробно описано в Приложении 5 – управление МВП.

В решении предложенном ИГП в исследовании 2009/2010 года, водосбросные сооружения для плотины на отм. 1300 м.н.у.м. (НПУ 1290 м.н.у.м.) являются следующими:

- 3-й эксплуатационный водосброс (ОРЗ)
- Глубинный водосброс
- Эксплуатационный шахтный водосброс

Общая пропускная способность 7100 м<sup>3</sup>/с, это значение МВП, оцененного в исследовании ИГП.

### 5.2.2 Оценка

Как показано в текущем анализе, спроектированное решение страдает от нескольких недостатков:

- Максимальный напор в тоннелях выше значения, рекомендованного Консультантом.
- Необходимость в перепроектировании для распределения потока между водосбросными сооружениями, чтобы удовлетворить критерий N-1.
- Два сооружения делят один выходной портал.
- Недостаток опыта для таких больших вихревых сооружений для постоянного пропуска паводков.

Консультант считает, что условия безопасности не соблюдены. Поэтому были исследованы другие варианты в оставшейся части приложения, чтобы выбрать подходящее решение для каждой высоты плотины.

## 5.3 Управление паводками

### 5.3.1 Доступные водосбросные сооружения в конце строительства

Как обсуждалось в томе 3, разделе 3, приложении 3 «Управление паводками во время строительства», следующие тоннельные водосбросы будут оставаться доступными в



конец строительства как водосбросные сооружения для каждого варианта высоты плотины:

Вариант плотины	Количество доступных тоннелей	Количество затворов в каждом тоннеле	Отметка водоприемников тоннелей
НПУ = 1220 м.н.у.м.	1	3	1140 м.н.у.м.
НПУ = 1255 м.н.у.м.	3	3	1 at 1145 м.н.у.м. и 2 на 1165 м.н.у.м.
НПУ = 1290 м.н.у.м.	2	3	1190 м.н.у.м.

Это тоннели остаются в эксплуатации, пока водохранилище не заполнится наносами, так как эксплуатационный напор не превышает критерий, зафиксированный Консультантом (120 м).

### 5.3.2 Возможные типы водосбросных сооружений

Как описывается в томе 3, разделе 3, приложении 4 «Гидравлические характеристики компонентов проекта», были найдены технически осуществимые решения и для поверхностных водосбросных сооружений и водосбросных сооружений типа напорных тоннелей.

Вариант плотины	Кол-во затворов на каждый водовод	Ширина затворов	Отметка порога
НПУ = 1220 м.н.у.м.	4	8м	1214 м.н.у.м.
НПУ = 1255 м.н.у.м.	4	8м	1249 м.н.у.м.
НПУ = 1290 м.н.у.м.	4	8м	1284 м.н.у.м.

### 5.3.3 Анализ различных вариантов управления паводками

Для каждого варианта были исследованы несколько комбинаций водосбросных сооружений (количество и типов) в отношении критериев проектирования, а так же их чувствительности к параметрам, описанным в 4.3 приложения 5 – «Записка по управлению МВП».

### 5.3.4 Выводы и рекомендации

Выводы и рекомендации для каждого варианта следующие:

#### Вариант НПУ = 1220 м.н.у.м.

Рекомендуется внедрить на Рогуне вариант с двумя поверхностными водосбросами и одним тоннелем. Рекомендуется добавить как минимум поверхностный водосброс на

Нуреке, чтобы обеспечить защиту плотины от МВП. Стоимость этих работ была учтена как минимальная стоимость работ, которые следует провести на каскаде, если этот вариант будет выбран.

**Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м.**

Рекомендуется внедрить на Рогуне вариант с тремя тоннелями и одним поверхностным водосбросом.

**Вариант НПУ = 1290 м.н.у.м.**

Рекомендуется внедрить на Рогуне вариант с одним поверхностным водосбросом и двумя тоннелями.

## 5.4 Тоннельные водосбросные сооружения

Водосбросные сооружения верхнего уровня состоят из набора тоннелей, работающих при максимальном напоре около 80-110 м с индивидуальной максимальной пропускной способностью около 1500 м<sup>3</sup>/с. Согласно критериям проектирования для такого типа сооружений, когда плотина будет завершена, они должны допускать управление паводком с 10000-летним возвратным периодом, даже если N-1 сооружений (тоннелей) доступно и во время МВП все они полностью в рабочем состоянии. Комбинированная трансформация паводка в Рогуне и Нуреке показала, что с такой схемой на самом деле, возможно, пропускать паводки 10000-летним возвратным периодом и МВП.

Водосбросные сооружения верхнего уровня указанные в прикрепленной схеме, расположены близко к основанию плотины, примерно в 500 ниже по течению от водоприемника СТЗ. Первоначально они пролегают юго-западном направлении, и после 150-200 м начинают поворачивать на юго-юго-восток, достигая правого берега после нижнего бьефа плотины после дальнейшего участка длиной около 1250 м.

С учетом отметки водоприемников, указанных выше, максимальный напор на затворах около 100 м, которому соответствует скорость воды через приемники затворов около 33 м/с.

Следует отметить, что они расположены примерно на 30 м выше чем напорные водоприемники, для того, чтобы гарантировать их работоспособность как можно дольше, даже если наносы достигнут подводных тоннелей.

Что касается общей схемы, выше по течению расположены тоннели, примерно в 15-20 м ниже Йонахшского разлома, для максимального предотвращения влияния проседания или смещения на устойчивость сооружения. Для вариантов требующих два или только один тоннель, были выбраны те, что дальше от разлома, для увеличения безопасности сооружений. В любом случае, прежде чем приступить к реализации проекта, должны быть проведены конкретные изыскания для определения наиболее подходящего расположения.

Предусматривается обеспечить каждый тоннель двумя ремонтными затворами и набор из трех аварийных и сегментных затворов, следуя концепции, принятой в других тоннелях. Что касается гидравлического поведения, участок после сегментных затворов работает в безнапорных условиях, поэтому водопропускная способность контролируется потерей напора в напорном участке и выходом сегментных затворов.

Если рассматривать самый высокий вариант плотины, тоннельные водосбросные сооружения верхнего уровня будут находиться на отн. 1180 м.н.у.м., примерно на 200 м выше, чем речное русло.

Есть два возможных пути для сброса потока в реку:

- Обеспечивая тоннели открытыми водосбросными сооружениями, состоящих из платформы с носком отброса струи, доставляя как можно больше воды вниз и затем позволяя ей делать прыжок в реку;
- Адаптируя некоторое сооружение для рассеивания энергии и выпуская воду как можно ниже по отношению речному руслу.

С учетом вышеуказанных вариантов, было рассмотрено следующее:

Первый из них принят в различных станциях, когда напор не очень большой и зона воздействия такова, что эффект вымывания можно эффективно контролировать, ввиду природных условий речного русла или внедряя подходящие защитные меры. В случае Рогунского проекта, напор значителен и природные условия речного русла являются предметом озабоченности, из-за вероятности инициирования феномена неустойчивости бокового склона.

Если спроектировать длинный желоб, который смог бы позволить защитить правый берег от феномена эрозии, высокая скорость воды в конце достигла бы такого эффекта, и риски кавитации не являются незначительными, даже если предусмотрены соответствующие меры. Так же, даже если зона влияния прыжка и максимальная глубина вымывания может быть оценена, последствия по устойчивости берегов не являются полностью предсказуемыми.

Решение состоящее из вихревых водосбросов в данном случае не рассматривается, из-за необходимой высоты шахты. Другими вариантами может быть адаптация большой вертикальной шахты, имеющей эффект рассеивания энергии при помощи вертикального водобойного колодца. Не было найдено никакой информации о применении такого решения на других крупных гидроэлектростанциях.

Целью является контролирование рисков кавитации и рассеивание как можно больше энергии, что было достигнуто комбинированием в каскаде двух общепринятых гидравлических мер, т.е. желоба с таким напором, что скорость воды остается в пределах, приемлемых для гидросооружений и водобойных колодцев.

На самом деле, с ограничением максимального общего напора до 75 м и учитывая потери напора в течение участка, скорость воды не больше 40 м/с и энергия у подошвы желоба рассеивается в водобойном колодце. Были предусмотрены аэрационные шахты вдоль желоба для лучшего контроля феномена кавитации.

Проведенные вычисления показали, что индекс кавитации остается выше, чем 0.1, который подразумевает, что проект приемлем с соответствующими мерами.

Так же в отчете по гидравлическим характеристикам было показано, что большая часть энергии рассеивается вдоль каскадной системы желобов и водобойных колодцев, таким образом значительно снижая проблемы вымывания в реке.

На самом деле, энергия соответствующая напору последнего желоба, сниженная потерей напора, остается в конце каскадной системы, где расположен терминал с носком отброса струи.

Вышеописанное решение было принято для всех предложенных тоннельных сооружений верхнего уровня, только адаптируя к морфологическим условиям и разнице в общих отметках склонов и высоте желобов.

Как и в случае с другими тоннелями, ВСВУ будут оставаться в рабочем состоянии, пока наносы не достигнут их водоприемников, окончательно препятствуя пропуску потока. Их срок службы может варьироваться от 25/30 лет для варианта НПУ 1220 до 70/75 лет для варианта НПУ 1290.

На этой точке, ВСВУ будут заглушены и поверхностный водосброс должен быть завершен, чтобы заменить его полную пропускную способность.

## 5.5 Поверхностный водосброс

### 5.5.1 Критерии проектирования

Поверхностный водосброс, в качестве конечного сооружения по пропуску паводков, должен заменить в долгосрочной перспективе сооружения по пропуску паводков, запланированных в начале полезной срока проекта (пропускные сооружения первого этапа).

Его пропускная способность должна быть соответственно равной пиковому расходу максимально возможного паводка (МВП).

Ожидается, что он будет частично или полностью находится в рабочем состоянии, когда наносы будут влиять на пропускную способность тоннелей, имеющих водоприемники на более низких уровнях.

Из-за наносов будущий поверхностный водосброс должен быть спроектирован и построен таким образом, чтобы ущерб от эрозии, вызванный наносами, мог быть легко отремонтирован при помощи изолирования части водосброса.

### 5.5.2 Описание

Структура водосброса состоит из трех независимых водоводов, содержащих следующие компоненты:

- Подходной пролет,
- Управляющий порог с 4 пролетами с затворами (общее количество пролетов с затворами равно  $3 \times 4 = 12$ ),
- Суб-горизонтальный безнапорный поверхностный канал вдоль тоннелей, пройденный через высокий холм на правом берегу,
- Открытый ступенчатый канал с промежуточным рассеиванием энергии. Каждый ступень 70 м в высоту и состоит из крутого желоба (0.8H:1V) с последующим суб-горизонтальным участком, где водобойный колодец рассеивает часть

энергии. Есть три ступени в двух более высоких вариантах плотины и всего две ступени в маленьком варианте.

- Трамплин для отброса струи в конце желоба,
- Водобойный колодец в русле реки.

Все эти компоненты были спроектированы и измерены на основе современных данных, и доказаны как осуществимые. Испытания моделей рекомендуются в любом случае.

Предложенная схема подразумевает крупные работы по выемке, которым соответствуют довольно высокие склоны. Предусмотрены стабилизационные меры последних, состоящих из длинных анкерных болтов и защиты поверхности выемки армированными слоями торкрета.

Согласно выводам том 3 – раздел 3 – приложение 5 «Управление МВП», потребуется только один «модуль» на начальном этапе эксплуатации проекта для вариантов с НПУ 1290 и 1255, в то же время, для варианта 1220 приняты два модуля. Для двух самых высоких альтернатив, это следствие необходимости удержания потока, сбрасываемого с Рогуна в пределах значений, которые гарантируют, что безопасность Нурека не пострадает.

Поверхностный водосброс так же может быть построен частично, если это экономически конкурентоспособно, как альтернатива другим пропускным сооружениям.

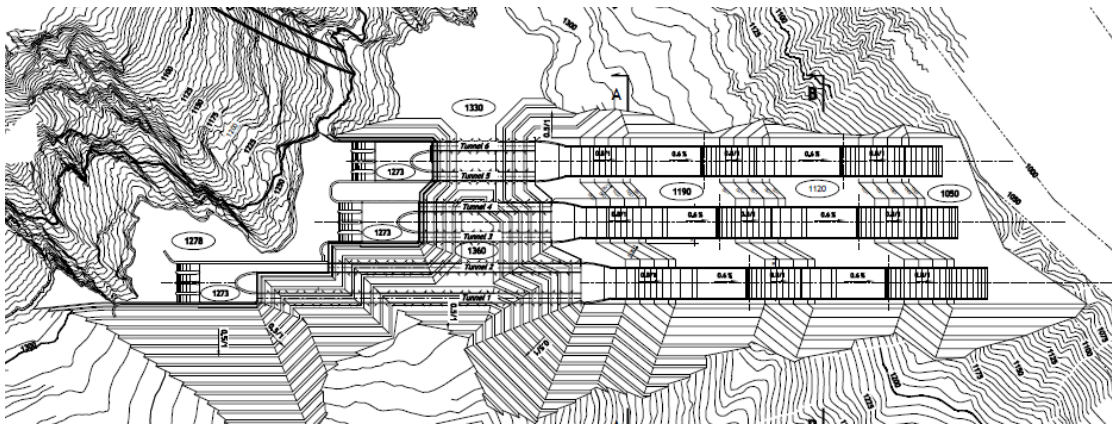


Рис. 5-1: Рис. поверхностного водосброса

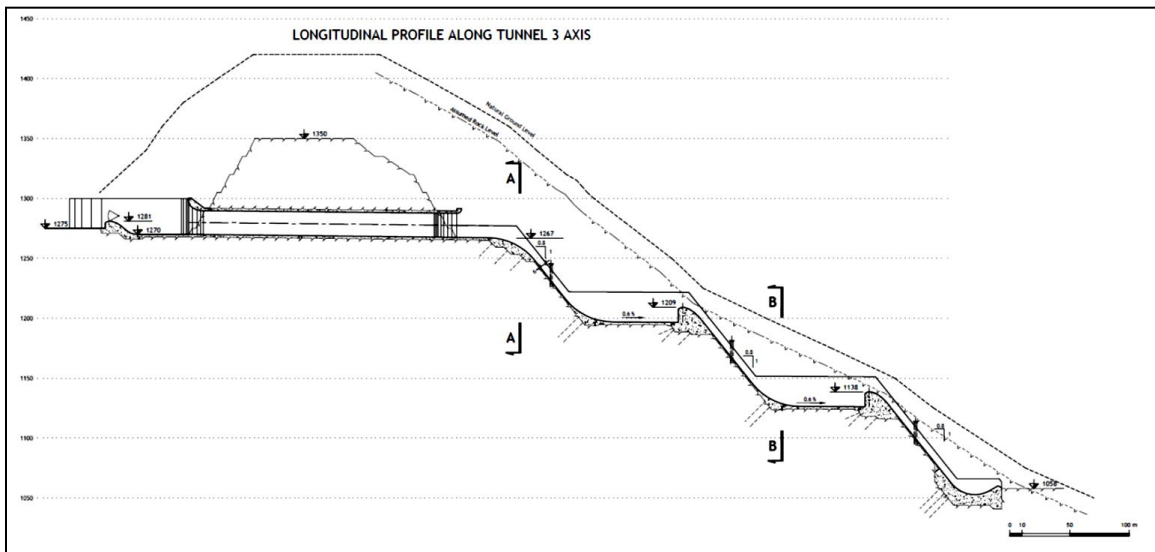


Рис. 5-2: Продольное сечение ступенчатого водосброса

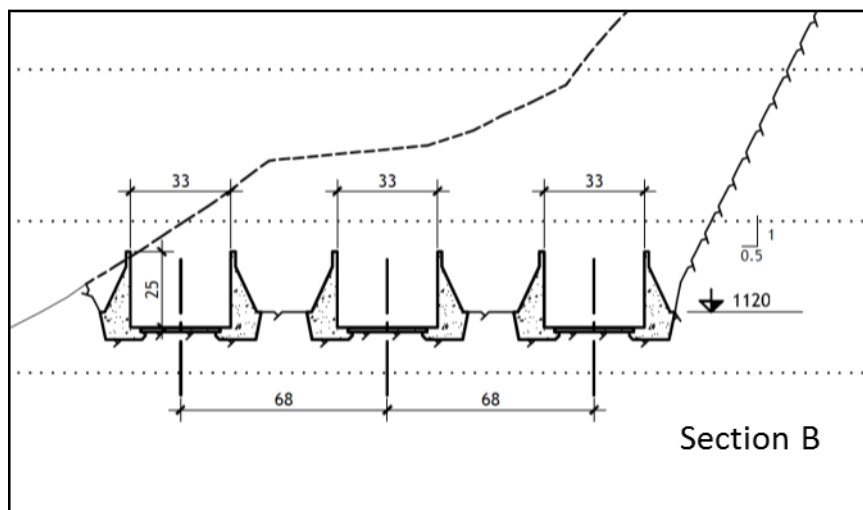
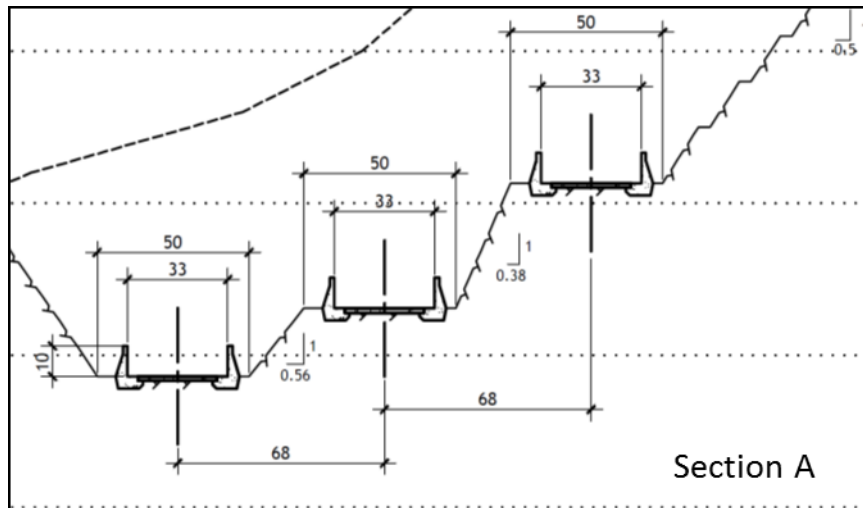


Рис. 5-3: Поперечное сечение ступенчатого водосброса

## 5.6 Согласованность с низовым каскадом

В дополнение к различным вариантам для управления паводками, представленных в §**Error! Reference source not found.**, Консультант поднимает дополнительный вариант: «Защита низового каскада».

Так как Нурек и другие низовые сооружения были спроектированы в 70-х, их расчетные паводки соответствуют советским стандартам и определены как паводки с 10000-летним возвратным периодом. Консультант разработал управление МВП, которое позволяет аккумулировать часть МВП в Рогуне и спускать ниже по течению от Рогунского приемлемый объем для пропускных способностей Нурека и других низовых сооружений. Оно использует:

- Водосбросные тоннели, способные контролировать сток;
- Эксплуатацию Рогунского водохранилища: снижение уровня водохранилища зимой создает большой объем используемый для аккумулирования МВП;

Подробности этого исследования представлены в приложении 6. Оно показывает, что:

- Для гарантирования безопасности Нурека и всего Вахшского каскада, поток должен быть контролируемым и ограничен  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$  на выходе из Рогунского водохранилища. Это может обеспечиваться тремя тоннельными водосбросами по  $1500 \text{ м}^3/\text{с}$  каждый.
- В апреле, в начале МВП, водохранилище не должно быть выше 1270 м.н.у.м. для варианта плотины НПУ = 1290 м.н.у.м., 1210 м.н.у.м. для варианта плотины НПУ = 1255 м.н.у.м., 1140 м.н.у.м. для варианта НПУ = 1220 м.н.у.м.
- «Нормальный» уровень водохранилища в апреле меньше, чем необходимо для аккумулирования МВП; поэтому выработка электроэнергии не будет затронута управлением МВП;
- Для варианта плотины НПУ = 1220 м.н.у.м., объем водохранилища недостаточен для аккумулирования МВП, плотина должна быть или полностью перепрофилирована с увеличением высоты или должна быть обеспечена пропускная способность для разных низовых станций.

Три тоннеля недостаточно для гарантирования полной безопасности Рогунского водохранилища: критерий n-1 тоннелей для паводка с 10000-летним возвратным периодом не учитывается, полагаться на тоннельные водосбросы не рекомендуется и максимальная пропускная способность равна  $4500 \text{ м}^3/\text{с}$ , что означает, что безопасность плотины зависит от эксплуатации водохранилища, т.е. от решений человека. Поэтому эти три тоннеля рассматриваются как недостаточные для полного обеспечения безопасности и консультант рекомендует внедрить поверхностный водосброс для завершения пропускной способности и гарантирования полной безопасности Рогунской плотины.

Что касается решения «комбинация поверхностного/тоннельных водосбросов» представленного ранее, поверхностный водосброс должен будет быть увеличен в будущем, чтобы пропускать дневной расход МВП в  $7770 \text{ м}^3/\text{с}$ . В краткосрочной

перспективе можно построить только канал, необходимый для завершения пропускной способности, предоставленной тоннелями.

	Конфигурация в краткосрочной перспективе	Максимальный расход (м <sup>3</sup> /с)
НПУ =1290 м.н.у.м.	2 тоннеля + 2 канала	8400
НПУ =1255 м.н.у.м.	3 тоннеля + 2 канала	8400
НПУ =1220 м.н.у.м.	1 тоннель+ 3 канала + гребень на 1245 м.н.у.м.	8400

**Таблица 5-2 : Конфигурация водосбросов – вариант "защиты низового каскада "**

Следует отметить, что в любом случае, функция «защита низового каскада» будет эффективной только во время первого периода срока службы Рогунской ГЭС. В долгосрочной перспективе (несколько десятилетий) защита больше не будет обеспечиваться.

## 5.7 Сработка водохранилища

Сработка водохранилища может быть выполнена путем использования доступных гидротехнических сооружений, а именно ВССУ1 и 2 и водосбросными тоннелями верхнего уровня.

Как указывается в приложении 4 – Гидравлические характеристики компонентов проекта, вышеуказанные сооружения будут поддерживаться в эксплуатационном состоянии пока уровень наносов не достигнет соответствующих водоприемников. Рассматривается, что необходимость в понижении водохранилища может возникнуть в какой-то момент эксплуатации, при чрезвычайной ситуации, связанной с постоянными сооружениями станции или в связи с устойчивостью склонов водохранилища. Могут потребоваться экстраординарные действия по техобслуживанию на уровнях, которые обычно остаются под уровнем воды.

Конфигурация сооружений является разной и меняется от одного варианта к другому, в следующем виде:

НПУ 1,290 м.н.у.м.: 2 тоннельных водосброса верхнего уровня на отм. 1,190 м.н.у.м..

Водосбросное сооружение среднего уровня 2 на отм. 1,140 м.н.у.м.

Водосбросное сооружение среднего уровня 1 на отм. 1,085 м.н.у.м.

НПУ 1,255 м.н.у.м.: 2 тоннельных водосброса верхнего уровня на отм. 1,165 м.н.у.м.

1 тоннельный водосброс верхнего уровня на отм. 1,145 м.н.у.м.

Водосбросное сооружение среднего уровня 1 на отм. 1,085 м.н.у.м.

НПУ 1,220 м.н.у.м.: 1 тоннельный водосброс верхнего уровня на отм. 1,140 м.н.у.м.

Водосбросное сооружение среднего уровня 1 на отм. 1,085 м.н.у.м.



Как указано выше, эти водосбросные сооружения постепенно будут выводиться из эксплуатации, следуя уровню заиливанию.

Поэтому возможность проводить сработку будет варьироваться время от времени, согласно конфигурации водосбросных сооружений, которая будет доступна в определенный момент, и в рамках минимально достижимого уровня водохранилища и в рамках времени, необходимого для пропуска соответствующих объемов.

Была проведена оценка некоторых возможных сценариев, первоначально рассматривающих доступность только верхних водосбросных тоннелей, и постепенного добавления нижних. Время для снижения уровня водохранилища было рассчитано учитывая общую пропускную мощность различных тоннелей, на различных уровнях, а так же входящий поток реки Вахш. Были рассмотрены средние потоки влажного сезона (апрель/сентябрь) и сухого сезона (октябрь/март), 1041 и 233 м<sup>3</sup>/с, соответственно.

В качестве дальнейших ограничений, было рассмотрено ограничение общего пропуска до 4040 м<sup>3</sup>/с, следуя критериям, установленным чтобы защитить каскад и выведение из эксплуатации определенные водосбросные сооружения, когда соответствующий гидравлический напор достигнет 120 м.

Результаты, полученные для разных альтернатив, приведены в следующих таблицах.

Результаты вышеописанного следует рассматривать только как ориентировочные, будучи предоставленными для демонстрации способности доступных водосбросных сооружений понизить уровень водохранилища в разных ситуациях.

Следует отметить, что не рассматривалось ни одного ограничения, касающегося скорости понижения уровня водохранилища. Поэтому вышеуказанная продолжительность должна рассматриваться как максимально достигаемая для разных конфигураций и соответствующих входящих потоков, только с вышеуказанными ограничениями в отношении максимального пропускаемого потока и максимального гидравлического напора.

ALTERNATIVE FSL = 1220							
Available hydraulic facilities							
1 HLTS	el.	1,140.00	m a.s.l.		1 HLTS	el.	1,140.00 m a.s.l.
					1 MLO1	el.	1,085.00 m a.s.l.
Incoming Flows		wet s.	dry s.		Incoming Flows	wet s.	dry s.
m <sup>3</sup> /s		1041.00	233.00		m <sup>3</sup> /s	1041.00	233.00
Draw-down time (days)		169.53	62.96		Draw-down time (days)	45.51	20.15
Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,185.00	1,147.50		Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,185.00	1,147.50
Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		3,058.17	1,537.75		Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	3,058.17	1,537.75
					Draw-down time (days)	68.87	38.82
					Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,100.00	1,090.00
					Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	607.33	479.00

ALTERNATIVE FSL = 1255													
Available hydraulic facilities													
2 HLTS	el.	1,165.00	m a.s.l.		2 HLTS	el.	1,165.00	m a.s.l.		2 HLTS	el.	1,165.00	m a.s.l.
					1 HLTS	el.	1,145.00	m a.s.l.		1 HLTS	el.	1,145.00	m a.s.l.
										1 MLO1	el.	1,085.00	m a.s.l.
Incoming Flows		wet s.	dry s.		Incoming Flows	wet s.	dry s.			Incoming Flows	wet s.	dry s.	
m <sup>3</sup> /s		1041.00	233.00		m <sup>3</sup> /s	1041.00	233.00			m <sup>3</sup> /s	1041.00	233.00	
Draw-down time (days)		65.04	43.10		Draw-down time (days)	28.14	23.98			Draw-down time (days)	24.47	20.09	
Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,180.00	1,170.00		Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,180.00	1,170.00			Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,180.00	1,170.00	
Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		2,784.00	2,389.00		Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	2,784.00	2,389.00			Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	2,784.00	2,389.00	
					Draw-down time (days)	37.16	50.81			Draw-down time (days)	26.11	22.69	
					Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,170.00	1,152.50			Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,170.00	1,152.50	
					Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	2,389.00	1,697.75			Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	2,389.00	1,697.75	
										Draw-down time (days)	47.07	42.17	
										Res. Bottom Elev. m a.s.l.	1,100.00	1,090.00	
										Res. Volume (hm <sup>3</sup> )	607.33	479.00	

ALTERNATIVE FSL = 1290													
Available hydraulic facilities													
2 HLTS	el.	1,190.00	m a.s.l.		2 HLTS	el.	1,190.00	m a.s.l.		2 HLTS	el.	1,190.00	m a.s.l.
					1 MLO2	el.	1,140.00	m a.s.l.		1 MLO2	el.	1,140.00	m a.s.l.
										1 MLO1	el.	1,085.00	m a.s.l.
Incoming Flows		wet s.	dry s.		Incoming Flows		wet s.	dry s.		Incoming Flows		wet s.	dry s.
m <sup>3</sup> /s		1041.00	233.00		m <sup>3</sup> /s		1041.00	233.00		m <sup>3</sup> /s		1041.00	233.00
Draw-down time (days)		124.53	64.62		Draw-down time (days)		45.63	35.27		Draw-down time (days)		45.47	34.73
Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,202.50	1,195.00		Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,202.50	1,195.00		Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,202.50	1,195.00
Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		4,017.75	3,606.50		Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		4,017.75	3,606.50		Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		4,017.75	3,606.50
					Draw-down time (days)		91.26	74.06		Draw-down time (days)		54.10	41.53
					Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,155.00	1,145.00		Res. Bottom Elev. m a.s.l.		1,155.00	1,145.00
					Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		1,796.50	1,476.50		Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		1,796.50	1,476.50
										Draw-down time (days)		71.59	59.90
										Bottom elevation m a.s.l.		1,100.00	1,090.00
										Res. Volume (hm <sup>3</sup> )		607.33	479.00

## 6 МНОГОУРОВНЕВЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ

В томе 2 – разделе 6 «Седиментация», общий годовой твердый сток реки Вахш оценивается в диапазоне от 87 до 140 млн. тонн в год или от 62 до 100 млн. м<sup>3</sup> в год.

Большой объем наносов представляет серьезный недостаток для станции, так как он имеет значительное воздействие на полезный срок службы проекта и на выработку электроэнергии.

Поэтому, были проанализированы возможные альтернативы для снижения таких негативных воздействий, чтобы найти наиболее эффективную, которая может быть реализована в разумных пределах стоимости.

Сначала Консультант предложил реализовать сооружения по проведению промывания наносов в местах, наиболее чувствительных к проблеме заилиения, т.е. зона постоянных напорных водоприемников, через тоннели, расположенные на левом берегу, чуть ниже напорных водоприемников. Даже если это решение не представляется оптимальным, оно было рассмотрено как способное как минимум предоставить защиту оборудованию и для напорных водоводов в течение некоторого времени, позволяя эксплуатировать станцию более долгий период.

Однако это решение было признано работающим несоответствующим образом, ввиду того факта, что ему пришлось бы работать под высоким напором. Были отмечены другие недостатки, связанные с природой сая Оби-Шур, который является единственно возможной точкой сброса для тоннеля, начиная от зоны напорных водоприемников.

Поэтому была проанализирована возможность реализации многоуровневых водоприемников. Такое обеспечение позволит эксплуатировать станцию даже когда

уровень наносов будет выше, чем напорные водоприемники водоводов, предлагая решение для снижения эффектов седиментации с относительно низкой стоимостью. Так же была рассмотрена вероятность захвата взвешенных наносов в напорные водоприемники. Следует отметить, что с этим решением пропущенная вода в любом случае пройдет через турбины, вырабатывая электроэнергию. Однако перед решением того, является ли эта операция осуществимой, должны быть проведены дальнейшие исследования, направленные на оценку возможного негативного воздействия взвешенных наносов на гидро-механическое оборудование, а так же на проверку пригодности предложенного решения.

Решение многоуровневых водоприемников, предложенное для Рогуна, состоит из наклонной бетонного водовода, опирающейся на склон берега в соответствии с водоприемниками напорных водоводов, оборудованных входами на различных уровнях, от напорных водоприемников до отметки гребня плотины. Когда будет решено пропускать взвешенные наносы через напорные водоводы, водовод начнется с отм. 1090 м.н.у.м.

Предварительный проект водоприемников рассматривает бетонный водовод примерно 16.0 м в ширину и 12.0 м в высоту, поэтому скорость воды внутри водовода для потока 270 м<sup>3</sup>/с около 1.73 м/с, что обеспечивает незначительные потери напора. Скорость воды через входы водоприемника (предварительно 6.50 м в ширину и 8.25 м в высоту каждый, два входа на каждом водоприемнике) порядка 2.52 м/с, которая позволяет сохранять низкие потери напора, в то же время обеспечивая достаточную скорость воды для втягивания взвешенных наносов.

Водоприемники напорных водоводов будут оборудованы съемными сороудерживающими решетками (два входа 7.5 м в ширину и 42 м в высоту, максимальная скорость на общей площади 0.43 м/с). Также многоуровневые водоприемники водовода должны быть оборудованы съемными сороудерживающими решетками с широко разнесенной сеткой, единственной целью которых должно быть предотвращение попадания крупных плавающих объектов в водовод. Водоприемники должны быть оборудованы стальными элементами для закрытия, чтобы исключить постепенное заполнение наносами. Эти элементы не должны обеспечивать водонепроницаемость и будут эксплуатироваться только при сбалансированных условиях давления воды.

Больше соображений и подробностей приведено в параграфе 1.1.5 приложения 4 – Гидравлические характеристики компонентов проекта в томе 3 – разделе 3 – Проекты вариантов.

## 7 МАШИННЫЙ ЗАЛ

Выработка машинного зала, расположенного в осадочном комплексе, состоящего из песчаника и алевролита, приблизительно 21 м в ширину, 69 м в высоту и 220 м в длину.

Уровень зоны доступа / монтажа установлен на отм. 974.6 м.н.у.м., оси турбин на отм. 959.0 м.н.у.м. и нижняя часть отсасывающих труб на 933.4 м.н.у.м.

Большие объемы проходческих работ уже были выполнены, в частности в зоне агрегатов № 5 и 6, где была достигнута отметка спиральной камеры, в прошлом там было установлено значительно количество креплений выработки.

Комплекс состоит из выработок машинного зала и трансформаторного помещения, защищенных от внешнего давления воды системой дренажных галерей, окружающих эту зону, расположенных на различных отметках, из которых произведены цементационные завесы и размещены крупные скважины. Таким образом вода, присутствующая в горной породе дренируется и согласно результатам гидрогеологической модели внедренной ИГП, есть сильное снижение давления в соответствии со сооружениями.

Текущее состояние машинного зала уже было подробно обсуждено в оценке фазы 1, в которой были подчеркнуты существующие проблемы и доложено о прогрессе выполненных анализов.

Как было там отмечено, чтобы провести независимую оценку, консультант подготовил и проанализировал результаты двумерной модели, внедряющей надежные материальные уравнения, представляющие в подходящем виде эластично-пластичное и зависящее от времени поведение горной породы, как инструмент для оценки комплекса машинного зала, требующегося исследованиями ИТЭО.

Выводы, сделанные по результатам моделирования проведенного консультантом, подтверждают, что текущее состояние выработки является критическим и при предложенных проектных мерах, устойчивость не может быть достигнута. Поэтому предложен другой набор мер:

1. Установка анкерных болтов и на верхней и на нижней боковых стенах, между уже установленными пассивными анкерами над уровнем текущей выработки, в зоне агрегатов № 5 и 6, с такими же характеристиками, как те, что уже установлены в выработке машинного зала, хотя их длина оценивается примерно в 35 м.
2. Стабилизация сильно разгруженной горной породы в породном целике между выработками машинного зала и трансформаторного помещения, путем установки стальных свай (микро-свай) с правильными промежутками между арматурами ("tube à manchette – труба с кожухом), для допуска укрепительной цементации на определенных уровнях давления. Вопреки тому, что обычно делается в цементации с обычным кожухом трубы, здесь используется мультипакерная система для труб с манжетами (MPSP) разработанная в ранних 90-х Родии (Брюс и Галлавреси, 1988 г., Барла и Ярр, 1986 г.) и успешно применяемая на ряде проектов.

Другие возможные меры по стабилизации были изложены в параграфе 4.10 отчета первой фазы.

Обеспечение распределенной системы мониторинга до начала следующих этапов проходки является обязательным. Записи по увеличению конвергенции должны относиться к выбранному набору важных точек вдоль боковых стен, для исчерпывающего представления тех же деформаций, по ходу проходки, согласно постоянной процедуре. Этот метод подразумевает, что мониторинг играет очень активную роль и в проектировании и строительстве, допуская проведение запланированных модификаций в рамках согласованной договорной базы, которая затрагивает все основные стороны.

Следует отметить, что пока не будут установлены срочные стабилизационные меры и предоставлена полностью функционирующая система мониторинга, проходческие работы в выработке не должны возобновляться.

С внедрением этих мер машинный зал может быть доведен необходимых условий безопасности и может быть использован для тех работ, для которых был построен.

Напомним, что максимальная установленная мощность, рассматриваемая в исследованиях равна 3600 МВт, как указано в методологии ИТЭО, т.е. мощность, для которой было спроектировано текущее сооружение. Для вышеуказанного, основываясь на оценках Консультанта, машинный зал может вместить генерирующее оборудование соответствующее разным вариантам, предложенным в исследованиях, которые предполагают такое количество агрегатов, что и первоначальной схеме, без необходимости значительных модификаций.

## 8 ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Согласно проекту, выполненному ИГП для плотины с НПУ = 1,290 м.н.у.м., машинный зал оборудован 6 агрегатами с радиально-осевыми турбинами, каждая 600 МВт и работающих при барицентрическом напоре в 268 м. Проект предусматривает предварительную схему для начала выработки, когда плотина все еще строится.

Характеристики генерирующих агрегатов, в финальной стадии перечислены ниже:

### Характеристики финальной схемы:

Количество агрегатов	6
Максимальный чрезвычайный уровень водохранилища (м.н.у.м.) (a)	1291.5
Максимальный нормальный уровень водохранилища (м.н.у.м.) (b)	1290.0
Минимальный уровень водохранилища (м.н.у.м.) (c)	1185.0
Расчетный максимум общего напора (a-d -1)	323.4
Расчетный минимум общего напора (c-e)	205.2

### Турбина

Проектный чистый напор (м)	245
Барицентрический напор (м)	268
Минимальный нормальный чистый напор (м)	185
Максимальный чистый напор (м)	320
Мощность при минимальном напоре (МВт)	360
Максимальная номинальная мощность (МВт)	600
Максимальная мощность при условиях перегрузки (МВт)	810
Число оборотов (об/мин)	166.7
Скорость разгона(об/мин)	310
Ожидаемый максимальный КПД (%)	96.2
Максимальный поток (м <sup>3</sup> /с)	271
Требуемое погружение измеренное от оси спиральной камеры (м)	-13.6
Отметка центральной линии турбины (м.н.у.м.)	959.0

Нижняя отметка отводящего тоннеля (м.н.у.м.) (d)	967.1
Отметка воды в отводящем тоннеле с 3 агрегатами при 811.5 м <sup>3</sup> /с (м.н.у.м.) (e)	979.8
Доступное погружение с 3 агрегатами при 811.5 м <sup>3</sup> /с (м.н.у.м.)	-20.8

### Генератор

Номинальная мощность (МВА)	666
Номинальное напряжение (кВ)	15.75
Номинальный коэффициент мощности (р.у.)	0.9
Номинальная частота (Гц)	50
Число полюсов	36
Внешний диаметр шахты генератора (м)	15.3
Изоляция (информация требует подтверждения)	класс F

К вышеуказанным характеристикам, связанным с базовым вариантом с НПУ 1290 м.н.у.м., ассоциирован фактор станции равный 0.44.

Как указано в других разделах отчета, были проанализированы следующие варианты:

	НПУ = 1220 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1290 м.н.у.м.
<b>Высокая установленная мощность</b>	2 800 МВт	3 200 МВт	3 600 МВт
<b>Средняя установленная мощность</b>	2 400 МВт	2 800 МВт	3 200 МВт
<b>Низкая установленная мощность</b>	2 000 МВт	2 400 МВт	2800 МВт

Для каждого варианта предварительно было определено количество агрегатов, мощность и другие характеристики, как указывается в таблице раздела «Основные данные для каждого варианта».

Гидроагрегаты были определены, учитывая мощность не выше, чем в первоначальном проекте, то есть порядка 600 МВт.

Одинаковое число агрегатов было принято для всех вариантов, учитывая текущий ход работ, чтобы поток мог равномерно распределяться по двух существующим отводящим тоннелям.

По факту, было решено, что количество устанавливаемых агрегатов должно быть парным, потому, что будут неоправданно иметь максимальные скорости воды и максимальные потери напора в одном тоннеле больше, чем в другом.

Поддерживая число агрегатов равным тому, что предусмотрено в схеме станции, предложенной ИГП, возможно варьировать установленную мощность, снижать ее, без значительных модификаций схемы и работ, которые уже проделаны.

Единственно возможная модификация количества агрегатов, которая может быть сделана для снижения их общей стоимости, может быть их понижение с 6 до 4. Такое изменение будет иметь очень незначительное влияние на общую стоимость станции, в то же время снижая мощность агрегата только в случае установки 2000 МВт, с 600 до 500 МВт (см. таблицу ниже):

Общая уст. (МВт)	Мощность агрегатов с 4 агр. (МВт)	Мощность агрегатов с 6 агрегатами (МВт)
2000	500	333.3
2400	600	400.0
2800	700	466.7
3200	800	533.3
3600	900	600.0

Осуществимость агрегатов с очень высокой мощностью, выше чем было предусмотрено, должна быть внимательно исследована. Следует напомнить, как уже комментировалось, одной из основных электромеханических проблем является транспортировка очень крупных трансформаторов (необходимы трехфазные трансформаторы; в ином случае схема будет изменена, с модификацией уже проведенных работ). Это было возможно во время Советского Союза, но неосуществимо в настоящие дни из-за взаимоотношений между странами СНГ. Сборка трансформаторов на стройплощадке, которая является единственно возможным решением для агрегата мощностью 600 МВт, была предложена потенциальным поставщиком, но еще ни разу в мире не была опробована и может вызвать в будущем возможные проблемы в случае необходимости проведения механического обслуживания трансформаторов. Мы напоминаем, что согласно международной статистике, проблемы с трансформаторами являются наиболее частыми в электромеханической части гидроэлектростанции.

Снижая мощность агрегата с 600 МВт до значений, у нас была бы большая вероятность снизить трудности с транспортировкой трансформатора.

Что касается гидромеханического оборудования, никакие существенные изменения не были сочтены необходимыми по отношению к тому, что предусматривалось в первоначальном проекте.

Поэтому подводящие тоннели оборудованы шахтой затворов, где установлены затвор и верховой ремонтный затвор, приводимые в действие сервомотором. Сооружения водоприемника расположены примерно в 100-150 м выше от шахты затворов. В входной части водоприемников установлены сороудерживающие решетки, но не предусматривается решеткоочистительной машины из-за высокого напора между отметками НПУ и водоприемников. Вместо этого предусмотрен козловой кран для удаления и очистки сороудерживающих решеток, расположенный на отметке гребня плотины. Когда необходимо, кран снижается до этого уровня, к крыше напорных водоприемников на платформе по рельсам, установленных на бетонных наклонных подкрановых путях.



Часть тоннеля после затворов имеет стальную облицовку, как и турбинные водоводы.

Что касается различных гидросооружений, они состоят в основном из водосбросных тоннелей, для которых предусмотрены три комплекта затворов, т.е. ремонтные затворы, расположенные в нескольких сотнях метров от водоприемников, аварийные затворы и сегментные затворы, они эксплуатируются для контроля потока. Аварийные затворы могут эксплуатироваться при потоке для закрытия тоннелей, если сегментные затворы вышли из строя.

## 9 ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ КАЖДОГО ВАРИАНТА

В следующей таблице представлены основные характеристики Рогунского проекта для трех вариантов.

### 9.1 Плотина

	НПУ = 1290 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1220 м.н.у.м.
Гребень плотины	1300 м.н.у.м.	1265 м.н.у.м.	1230 м.н.у.м.
Уровень основания	965 м.н.у.м.	965 м.н.у.м.	965 м.н.у.м.
Высота плотины	335 м	300 м	265 м
Длина гребня	660 м	565 м	500 м
Ширина гребня	20 м	20 м	20 м
Уровень ядра гребня	1296.25 м.н.у.м.	1261.25 м.н.у.м.	1226.25 м.н.у.м.
Максимальный уровень воды	1293.45 м.н.у.м.	1257.25 м.н.у.м.	1220.25 м.н.у.м.
Минимальный эксплуатационный уровень	1185 м.н.у.м.	1161 м.н.у.м.	1137 м.н.у.м.
Полезный объем водохранилища	10 300 hm <sup>3</sup>	6 454 hm <sup>3</sup>	3 927 hm <sup>3</sup>
Общий объем водохранилища	13 300 hm <sup>3</sup>	8 550 hm <sup>3</sup>	5 220 hm <sup>3</sup>
Среднегодовой приток	20 100 hm <sup>3</sup>	20 100 hm <sup>3</sup>	20 100 hm <sup>3</sup>
Склоны плотины	US 2.4 H/1V DS 2 H/1V	US 2.4 H/1V DS 2 H/1V	US 2.4 H/1V DS 2 H/1V
Отм. первой очереди	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.	1075 м.н.у.м.
Толщина ядра гребня	8 м	8 м	8 м
Склоны ядра	US: 0.5 H/1V DS -0.1 h/1V	US: 0.5 H/1V DS -0.1 h/1V	US: 0.5 H/1V DS -0.1 h/1V
Толщина фильтров	Верхний бьеф: 2 слоя 10 м каждый над минимальным эксплуатационным уровнем и один слой 10 м под ним Нижний бьеф: 2 слоя по 10 м каждый	Верхний бьеф: 2 слоя 10 м каждый над минимальным эксплуатационным уровнем и один слой 10 м под ним Нижний бьеф: 2 слоя по 10 м каждый	Верхний бьеф: 2 слоя 10 м каждый над минимальным эксплуатационным уровнем и один слой 10 м под ним Нижний бьеф: 2 слоя по 10 м каждый



## 9.2 Сооружения для отвода реки

	НПУ = 1290 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1220 м.н.у.м.
<b>СТ1</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1439.5 м	1439.5 м	1439.5 м
<i>Напорный участок (D-образный)</i>	96.55 м <sup>2</sup>	96.55 м <sup>2</sup>	96.55 м <sup>2</sup>
<i>Нижний уровень водоприемника</i>	989.60 м.н.у.м.	989.60 м.н.у.м.	989.60 м.н.у.м.
<i>Верхний уровень водоприемника</i>	1020 м.н.у.м.	1020 м.н.у.м.	1020 м.н.у.м.
<i>Расчетный напор</i>	120 м	120 м	120 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	989.60 м.н.у.м.	989.60 м.н.у.м.	989.60 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	2490 м <sup>3</sup> /с	2490 м <sup>3</sup> /с	2490 м <sup>3</sup> /с
<b>СТ2</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1420.7 м	1420.7 м	1420.7 м
<i>Напорный участок (D-образный)</i>	96.55 м <sup>2</sup>	96.55 м <sup>2</sup>	96.55 м <sup>2</sup>
<i>Нижний уровень водоприемника</i>	1001.80 м.н.у.м.	1001.80 м.н.у.м.	1001.80 м.н.у.м.
<i>Верхний уровень водоприемника</i>	1020 м.н.у.м.	1020 м.н.у.м.	1020 м.н.у.м.
<i>Расчетный напор</i>	120 м	120 м	120 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1001.80 м.н.у.м.	1001.80 м.н.у.м.	1001.80 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	2490 м <sup>3</sup> /с	2490 м <sup>3</sup> /с	2490 м <sup>3</sup> /с
<b>СТ3</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1560 м	1560 м	1560 м
<i>Диаметр напорного участка</i>	15 м	15 м	15 м
<i>Уровень водоприемника</i>	1035.0 м.н.у.м.	1035.0 м.н.у.м.	1035.0 м.н.у.м.
<i>Уровень выходного портала</i>	1023.45 м.н.у.м.	1023.45 м.н.у.м.	1023.45 м.н.у.м.

<i>Расчетный напор</i>	150 м	150 м	150 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1035 м.н.у.м.	1035 м.н.у.м.	1035 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1160 м.н.у.м.	1170 м.н.у.м.	1165 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	3694 м3/с	3694 м3/с	3694 м3/с

*Данные относятся к условию максимального исключительного напора.*

### 9.3 Водобросные сооружения

#### 9.3.1 Водобросное сооружение среднего уровня

	НПУ = 1290 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1220 м.н.у.м.
<b>Водобросное сооружение среднего уровня №1</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1454.5 м	1454.5 м	1454.5 м
<i>Диаметр напорного участка (круговой)</i>	15 м	15 м	15 м
<i>Уровень водоприемника</i>	1083.50 м.н.у.м.	1083.50 м.н.у.м.	1083.50 м.н.у.м.
<i>Уровень выходного портала</i>	1001.10 м.н.у.м.	1001.10 м.н.у.м.	1001.10 м.н.у.м.
<i>Расчетный напор</i>	150 м	150 м	140 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1100.0 м.н.у.м.	1100.0 м.н.у.м.	1100.0 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1215.0 м.н.у.м.	1210 м.н.у.м.	1210 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	3686 м3/с	3686 м3/с	3564 м3/с
<b>Водобросное сооружение среднего уровня №2</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1117.0 м		
<i>Диаметр напорного участка (круговой)</i>	15 м		
<i>Уровень водоприемника</i>	1140 м.н.у.м.		
<i>Уровень выходного портала</i>	1026.80 м.н.у.м.		
<i>Расчетный напор</i>	150 м		
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1160 м.н.у.м.		
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1270 м.н.у.м.		
<i>Расчетный расход</i>	3710 м3/с		

*Данные относятся к условию максимального исключительного напора.*

### 9.3.2 Тоннели верхнего уровня

	НПУ = 1290 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1220 м.н.у.м.
<b>Тоннель верхнего уровня № 1</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1264.1 м	1385.7 м	1416.8 м
<i>Диаметр напорного участка (подковообразный)</i>	10 м	10 м	10 м
<i>Уровень водоприемника</i>	1190 м.н.у.м.	1145 м.н.у.м.	1140 м.н.у.м.
<i>Уровень выходного портала</i>	1177.70 м.н.у.м.	1131.74 м.н.у.м.	1126.30 м.н.у.м.
<i>Уровень выходного сооружения</i>	1000.00 м.н.у.м.	1000 м.н.у.м.	1000 м.н.у.м.
<i>Длина выходного водосброса</i>	440.3 м	376.6 м	367.3 м
<i>Расчетный напор</i>	100 м	110 м	80 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1190 м.н.у.м.	1145 м.н.у.м.	1140 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1290 м.н.у.м.	1255 м.н.у.м.	1220 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	1570 м <sup>3</sup> /с	1640 м <sup>3</sup> /с	1410
<b>Тоннель верхнего уровня № 2</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>	1410.1 м	1501.6	
<i>Диаметр напорного участка (подковообразный)</i>	10 м	10 м	
<i>Уровень водоприемника</i>	1190 м.н.у.м.	1165 м.н.у.м.	
<i>Уровень выходного портала</i>	1176.57 м.н.у.м.	1157.66 м.н.у.м.	
<i>Уровень выходного сооружения</i>	1000 м.н.у.м.	1000 м.н.у.м.	
<i>Длина выходного водосброса</i>	415.9 м	385.6 м	
<i>Расчетный напор</i>	100 м	90 м	
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1190 м.н.у.м.	1165 м.н.у.м.	
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1290 м.н.у.м.	1255 м.н.у.м.	
<i>Расчетный расход</i>	1570 м <sup>3</sup> /с	1490 м <sup>3</sup> /с	
<b>Тоннель верхнего уровня № 3</b>			
<i>Общая длина тоннеля</i>		1585.1 м	
<i>Диаметр напорного участка (подковообразный)</i>		10 м	
<i>Уровень водоприемника</i>		1165 м.н.у.м.	
<i>Уровень выходного портала</i>		1149.85 м.н.у.м.	
<i>Уровень выходного сооружения</i>		1000 м.н.у.м.	
<i>Длина выходного водосброса</i>		371.2 м	
<i>Расчетный напор</i>		90 м	
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>		1165 м.н.у.м.	

<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>		1255 м.н.у.м.	
<i>Расчетный расход</i>		1490 м3/с	

*Данные относятся к условию максимального исключительного напора.*

### **9.3.3 Промывной тоннель**

	<b>НПУ = 1290 м.н.у.м.</b>	<b>НПУ = 1255 м.н.у.м.</b>	<b>НПУ = 1220 м.н.у.м.</b>
<i>Общая длина тоннеля</i>	1743.35 м	1743.35 м	1782.5 м
<i>Диаметр напорного участка (круговой)</i>	4.5 м	4.5 м	4.5 м
<i>Уровень водоприемника</i>	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.	1090 м.н.у.м.
<i>Уровень выходного портала тоннеля</i>	1083.82	1083.82	1062.20 м.н.у.м.
<i>Расчетный напор</i>	150 м	145 м	130 м
<i>Минимальный эксплуатационный уровень</i>	1110 м.н.у.м.	1110 м.н.у.м.	1090 м.н.у.м.
<i>Максимальный эксплуатационный уровень</i>	1260 м	1255 м	1220 м.н.у.м.
<i>Расчетный расход</i>	357 м3/с	355 м3/с	338 м3/с

*Данные относятся к условию максимального исключительного напора.*



### 9.3.4 Поверхностный водосброс

	НПУ = 1290 м.н.у.м.	НПУ = 1255 м.н.у.м.	НПУ = 1220 м.н.у.м.
<b>Первый этап</b>			
<i>Количество модулей</i>	2	2	3
<i>Количество тоннелей</i>	4	6	6
<b>Окончательный этап</b>			
<i>Количество модулей</i>	3	3	3
<i>Количество тоннелей</i>	6	6	6
<b>Ширина тоннеля (D-образная)</b>	9.40 м	9.40 м	9.40 м
<b>Высота тоннеля (D-образная)</b>	15 м	15 м	15 м
<b>Высота падения</b>	224 м	189 м	148 м
<b>Кол-во промежуточных водосбросов</b>	2	2	1
<b>Ширина промежуточных водосбросов</b>	33 м	33 м	33 м
<b>Расчетный расход (МВП)</b>	7800 м <sup>3</sup> /с	7800 м <sup>3</sup> /с	7800 м <sup>3</sup> /с
<b>Уровень порога</b>	1284 м.н.у.м.	1249 м.н.у.м.	1208 м.н.у.м.
<b>Уровень конца носка отброса струи</b>	1060 м.н.у.м.	1060 м.н.у.м.	1060 м.н.у.м.
<b>Минимальный эксплуатационный уровень</b>	1284 м.н.у.м.	1249 м.н.у.м.	1208 м.н.у.м.
<b>Максимальный эксплуатационный уровень</b>	1296 м.н.у.м.	1261 м.н.у.м.	1226 м.н.у.м.

## 9.4 Машинный зал и электромеханическое оборудование

Отметка окончательной плотины 1290 м.н.у.м.

<b>Общая установленная мощность (МВт)</b>	<b>3600</b>	<b>3200</b>	<b>2800</b>
<b>Количество агрегатов</b>	6	6	6
<b>Кол-во заново использованных агрегатов</b>	2	2	2
<b>Мощность Р<sub>макс</sub> (МВт)</b>	600	533.3	466.7
<b>Мощность Р<sub>мин</sub> (МВт)</b>	360	270	245
<b>Напор Н<sub>макс</sub> (м)</b>	320	320	320
<b>Напор Н<sub>мин</sub> (м)</b>	185	185	185
<b>Напор Н<sub>проектный</sub> (м)</b>	285	285	285
<b>Число оборотов в минуту</b>	166.7	166.7	166.7

Отметка окончательной плотины 1255 м.н.у.м.

<b>Общая установленная мощность (МВт)</b>	<b>3200</b>	<b>2800</b>	<b>2400</b>
<b>Количество агрегатов</b>	6	6	6
<b>Кол-во заново использованных агрегатов</b>	2	2	0
<b>Мощность Р<sub>макс</sub> (МВт)</b>	533.3	466.7	400
<b>Мощность Р<sub>мин</sub> (МВт)</b>	260	225	200
<b>Напор Н<sub>макс</sub> (м)</b>	285	285	285
<b>Напор Н<sub>мин</sub> (м)</b>	131	131	131
<b>Напор Н<sub>проектный</sub> (м)</b>	210	210	210
<b>Число оборотов в минуту</b>	125	125	125

**Отметка окончательной плотины 1220 м.н.у.м.**

<b>Общая установленная мощность (МВт)</b>	<b>2800</b>	<b>2400</b>	<b>2000</b>
<b>Количество агрегатов</b>	6	6	6
<b>Кол-во заново использованных агрегатов</b>	2	0	0
<b>Мощность Р<sub>макс</sub> (МВт)</b>	466.7	400	333
<b>Мощность Р<sub>мин</sub> (МВт)</b>	190	170	145
<b>Напор Н<sub>макс</sub> (м)</b>	250	250	250
<b>Напор Н<sub>мин</sub> (м)</b>	107	107	107
<b>Напор Н<sub>проектный</sub> (м)</b>	190	190	190
<b>Число оборотов в минуту</b>	125	125	150

## **Список приложений**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ОЦЕНКА СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2: АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ПЛОТИНЫ**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3: УПРАВЛЕНИЕ ПАВОДКАМИ ВО ВРЕМЯ СТРОИТЕЛЬСТВА**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4: ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ  
ПРОЕКТА**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5: УПРАВЛЕНИЕ МВП (PMF)**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 6: ЗАПИСКА ПО НАДВОДНОМУ БОРТУ**