

# ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

## Фаза II: Варианты разработки проекта

### Том 3: Инжиниринг и проектирование

#### Глава 2: Выбор створа проекта, местоположение машинного зала, тип плотины и исследуемые варианты

Август, 2014 г.

Отчет No P002378 RP54 Ред. В

В	06/08/2014	Пересмотрено согласно комментариям ВБ и панели экспертов	LCO	OCL	LBO
Б	31/03/2014	Финальная версия	LCO	NSA	NSA
А	16/07/2013	Первое издание	LCO/OCL	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>ПРЕАМБУЛА</b>	<b>4</b>
1.1	<i>Краткая история Рогунского проекта</i>	4
1.2	<i>Основные характеристики проекта ИГП 2009-2010 года</i>	5
1.2.1	Схема расположения	5
1.2.2	Окончательная плотина и водохранилище	5
1.2.3	Финальная конфигурация машинного зала	6
1.2.4	Водосбросные сооружения при завершении	7
1.2.5	Ранняя выработка	10
1.3	<i>Существующие сооружения</i>	10
<b>2</b>	<b>ВЫБОР СТВОРА ПЛОТИНЫ, ТИП И ОСЬ</b>	<b>13</b>
2.1	<i>Створ плотины</i>	13
2.2	<i>Возможные типы плотин</i>	14
2.3	<i>Сравнение вариантов плотин</i>	14
2.3.1	Общее	14
2.3.2	Чувствительность тела плотины к сейсмическим явлениям	15
2.3.3	Возможные меры по снижению последствий	19
2.3.4	Риски, связанные с растворением соли в Йонахшском разломе.	20
2.3.5	Чувствительность к глинистым сланцам/алевролитам/аргиллитам	21
2.3.6	Чувствительность к разностным просадкам	22
2.3.7	Чувствительность к недооценке паводков или недостаточные водосбросные сооружения	22
2.4	<i>Другие факторы, рассматриваемые для сравнения вариантов плотин</i>	22
2.4.1	Строительство по этапам	22
2.4.2	График строительства	24
2.4.3	Другие компоненты Рогунского проекта	25
2.5	<i>Выбор типа плотины</i>	25
2.6	<i>Местоположение оси плотины</i>	29
<b>3</b>	<b>ВЫБОР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МАШИННОГО ЗАЛА И ТИП</b>	<b>29</b>
<b>4</b>	<b>ВЫБОР ВАРИАНТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	<b>32</b>
4.1	<i>Нормальный подпорный уровень (НПУ)</i>	32
4.2	<i>Установленная мощность</i>	32
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>34</b>

## Рисунки

---

Рис. 1.2.1 – Общая схема.....	5
Рис. 1.2.2 – Стандартное поперечное сечение плотины.....	6
Рис 1.2.3 – Машинный зал – Стандартное поперечное сечение .....	7
Рис. 4.1: Кривая продолжительности расхода Вахша на створе Рогуна (1932-2008 г.).....	33

## Таблицы

---

Таблица 2.3.1 – Чувствительность вариантов плотин к различным факторам рисков .....	17
Таблица 2.3.2 – Ссылки на плотины выше, чем 200 м .....	18
Таблица 2.4.1 – Возможность этапов в строительстве плотины.....	23
Таблица 2.5.1- Сравнение типов плотины - Синтез .....	28
Таблица 2: Выбранные проектные мощности.....	34

## 1 ПРЕАМБУЛА

### 1.1 Краткая история Рогунского проекта

Было проведено много исследований за годы работы с Рогунским гидроэнергетическим проектом. Эти исследования рассматривали различные отметки водохранилища и различные типы плотины и прилегающих сооружений. Опыт, полученный в ходе этих предыдущих исследований, очень ценен и помогает в выборе лучших вариантов.

Исследования по проекту Рогунской ГЭС начались во времена Советского Союза. Они были частью проекта по развитию гидроэнергетического потенциала реки Вахш, который начался в 1963 году. Эти первоначальные исследования по Рогуну были проведены одновременно со строительством Нурекской плотины, завершённые в 1978 году, пересмотренные в 1981 году, во время пуска в эксплуатацию Нурекской ГЭС. В этом проекте НПУ водохранилища был равен 1290 м.н.у.м. и высота плотины равнялась 335 м.

Строительство Рогунского проекта было начато после завершения Нурека. Оно было приостановлено в 1990 году, ввиду некоторых вопросов по высоте плотины. Естественно, различные организации в пределах СССР запросили дополнительные исследования, где были рассмотрены более низкие отметки водохранилища и гребня плотины, учитывая некоторые опасения по поводу сейсмичности участка, надежности проекта и некоторые проблемы окружающей среды. Эти дополнительные исследования были проведены Ташкентским Гидропроектом в 1992-1993 годах. Они исследовали диапазон отметок водохранилища: 1100, 1185, 1240 и 1260 м.н.у.м.

После получения независимости Таджикистаном в 1991 году, Правительство решило продолжить строительство плотины и ГЭС. В 2000 году Барки Точик подрядил Московский Гидропроект (ИГП) для определения оптимального варианта. Было определено, что оптимальная высота для первой очереди будет 1180 м.н.у.м.

В 2004-2006 г.г., были проведены различные исследования для Русала, основного российского производителя алюминия, который имел планы по проекту нового алюминиевого завода в Таджикистане. Эти исследования проводились Гидроспецстроем в Москве и в последующем Ламайером (Германия).

В 2009 году компания Рогунской ГЭС назначила Институт Гидропроекта Москвы (ИГП) для исследования завершения Рогунской ГЭС. В этих исследованиях проект очень похож на проект 1980 года. Основные изменения были в водопропускной способности и схеме расположения сооружений.

В 2011 году Барки Точик назначил консорциум Coyne et Bellier/Electroconsult/IPA для проведения исследований ТЭО (ИТЭО) проекта, согласно проекту в существующих исследованиях. Этот отчет является общим обзором существующей информации, ведущим к определению вариантов, предложенных для исследования в рамках текущей оценки.

## 1.2 Основные характеристики проекта ИГП 2009-2010 года

Проект, исследованный московским ИГП в 2009-2010 годах, является последней доступной версией проекта Рогунской ГЭС. Эта версия является базовой для оценки проекта и определения вариантов.

### 1.2.1 Схема расположения

После завершения Рогунский проект будет состоять из насыпной насыпи высотой 335 м над уровнем основания, питающей подземный машинный зал, расположенный на левом берегу, с 3600 МВт установленной мощности.

Общий вид плотины показан ниже, на рис. 1.2.1.

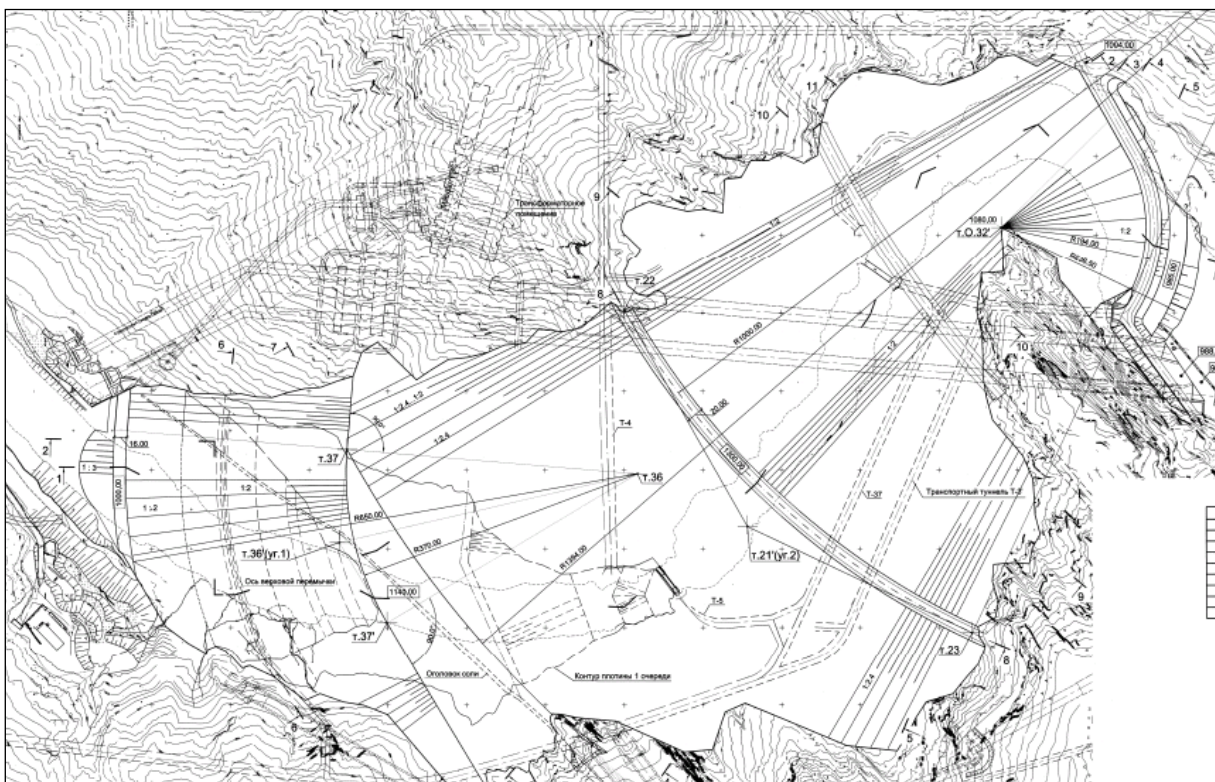


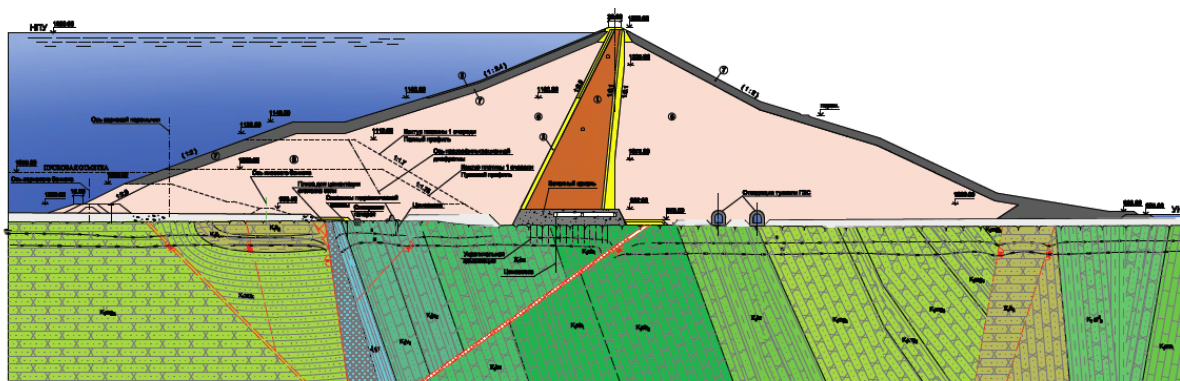
Рис. 1.2.1 – Общая схема

Первоначальный объем водохранилища при нормальном подпорном уровне (НПУ=1290 м.н.у.м.) будет около 13,300 млн. м<sup>3</sup>, что соответствует около 67% от среднегодового стока реки Вахш.

### 1.2.2 Окончательная плотина и водохранилище

Согласно проекту ИГП, плотина Рогуна финальной очереди будет состоять из зонированной насыпи высотой 335 м от фундамента. Общий объем засыпки будет равен 71.4 млн. м<sup>3</sup>, 7.2 млн. м<sup>3</sup> из которых представляют водонепроницаемое центральное ядро. Общий объем выемки равен 4.6 млн. м<sup>3</sup>.

Ниже, рис. 1.2.2. показывает стандартное поперечное сечение плотины.



**Рис. 1.2.2 – Стандартное поперечное сечение плотины**

Наклонное центральное непроницаемое ядро сделано из аллювиального материала с большим диапазоном размеров частиц с мелкозернистыми фракциями ( $<80\mu\text{m}$ ) от 15% до 30% и  $D_{\text{max}} = 200$  мм.

Толщина водонепроницаемого ядра варьируется от 8 м на уровне гребня до около 140 м на уровне основания. Гидравлический градиент через ядро ниже, чем 2.5.

Такое расположение ядра было выбрано специально, чтобы избежать разлома №35, возникающего в конце плотины, примерно в 30 м после подошвы ядра.

Мелкозернистые и крупнозернистые зоны фильтров граничат с ядром, с обеими сторонами.

Боковые призмы насыпи сделаны из разнообразного крупного аллювия, который найден в большом количестве в пределах зоны подтопления водохранилища. Общий объем различных насыпей оценивается в  $57.4$  млн  $\text{м}^3$ .

Средние склоны верховой и низовой стороны равны 2.9H/1V и 2.6H/1V соответственно.

Цементационная завеса, около 100 м глубиной, расположена в основании, продолжая водонепроницаемое ядро в пределах берегов. Цементационные работы могут вестись из галерей, пройденных в берегах на стандартно расположенных уровнях вдоль всей высоты плотины (6 различных уровней).

### **1.2.3 Финальная конфигурация машинного зала**

Подземный машинный зал расположен в пределах левого берега: он состоит из шести идентичных генерирующих агрегатов, мощностью 600 МВт, расположенных в выработке 69 метров в высоту, 21 метр в ширину и 220 метров в длину. Разрез машинного зала показан ниже, на рис. 1.2.3.

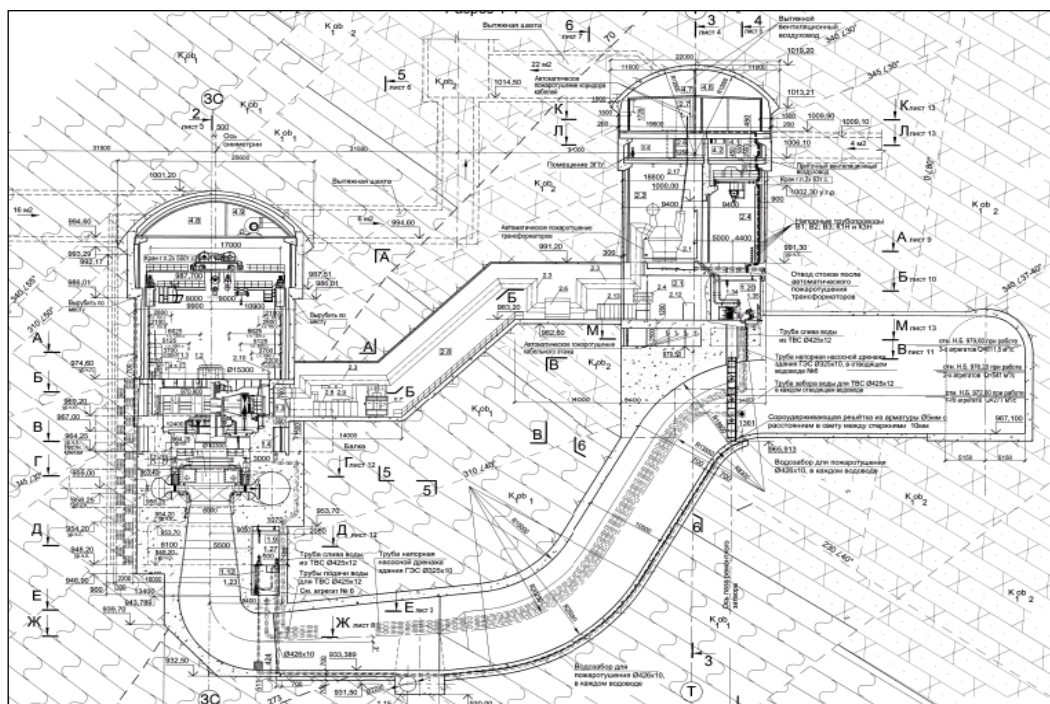


Рис 1.2.3 – Машинный зал – Стандартное поперечное сечение

Шесть независимых тоннелей, с внутренним диаметром 7.5 метров, доставляют поток от водохранилища до места расположения машинного зала; сооружение водоприёмников, расположенные на отметке 1152-1172 на левом берегу, обеспечивают подход воды из водохранилища на минимальном эксплуатационном уровне (МУ - отм. 1185), которая соответствует мертвому объему в 5,000 млн м<sup>3</sup>.

Паводкопроводящие сооружения состоят из тоннелей и шахт, пройденных в холмистой части правого берега: все они рассчитаны на пропуск максимально возможного паводка (МВП), объемом 7100 м<sup>3</sup>/сек при максимальном паводковом уровне (МПУ), определенном на отм. 1292.

Началось строительство специального защитного сооружения от паводков в низовой зоне левого берега, притока Обишур, недалеко от выходных порталов из машинного зала. Сооружения представляет собой бетонную гравитационную плотину высотой 85 метров.

Общая программа строительных работ охватывает 15 лет после даты отвода реки через два левобережных строительных тоннеля.

## 1.2.4 Водобросные сооружения при завершении

### 1.2.4.1 Первоначальный проект 2009 года

В проекте 2009 года ИГП, сооружения для пропуска паводка во время строительства первой очереди до отм. 1060 м.н.у.м. состоят из двух строительных тоннелей с пропускной способностью 3290 м<sup>3</sup>/с на отм. 1033 м.н.у.м. (называемых строительными и эксплуатационными тоннелями 1-го и 2-го уровня).

Первый пропускной тоннель на правом берегу (называемый 3-й строительный тоннель) первоначально был предусмотрен на отм. 1060 м.н.у.м., что является той же отметкой гребня вышеуказанной плотины, таким образом, пригодного для последующей очереди плотины, т.е. во время эксплуатации станции с предварительной схемой из двух агрегатов № 5 и 6, и плотины на отм. 1110 м.н.у.м.

Его общая длина была около 1700 м, с внутренним круговым диаметром 15 м в верховом участке, длиной около 1000 м, который работает при напорных условиях. Затем тоннель делится на два ответвления с одинаковым вышеуказанным сечением и после 100 м расположены сегментные затворы. После затворов, сечение тоннелей D-образное, 12.0 м в высоту и 10.0 м в ширину, со стальной облицовкой на боковых стенках и лотковой части. Затем два тоннеля сбрасывают воду в реку, расстояние между выходными порталами около 200 м. Предусмотрены носки отброса струи на выходных порталах обоих тоннелей и защитные сооружения обозначены вдоль склона берега до реки.

Тоннель оборудован комплектом ремонтных затворов, примерно в 600.0 м от водоприемника; еще один комплект аварийных затворов и один комплект сегментных затворов, все управляемые сервомоторами, были оборудованы в каждом тоннеле после ответвления, отражая довольно консервативный подход. Все затворы управляются из камеры затворов, расположенной прямо над ними.

Во второй очереди, был предусмотрен другой тоннель (строительный и эксплуатационный тоннель 3-го уровня) на правом берегу, на более высокой отметке, с водоприемником на уровне 1165 м.н.у.м. и такими же геометрическими характеристиками, описанными выше; на расстоянии 500 м от его водоприемника, тоннель соединяется к предыдущему при помощи очень высокой 110 метровой вертикальной шахтой. Со строительством этого тоннеля нижний будет заглушен чуть выше соединения, вероятно потому, что его использованию будет мешать и высокая скорость воды при напоре, постепенно увеличивающимся свыше 100 м и впоследствии отложением наносов.

Этот тоннель был оборудован ремонтным затвором примерно в 195.0 м от его водоприемника, с таким же расположением как и в других тоннелях.

Дополнительно к этой системе была предусмотрена система водосбросных сооружений состоящая из:

- Водосбросного тоннеля с водоприемником на отм. 1145 м.н.у.м., примерно 600 м в длину, соединенного с вертикальной шахтой, которая проходит от отм.1283.5 м.н.у.м. до 992.6 м.н.у.м. с диаметром 16.0 м в части после соединения с тоннелем;
- Вертикальный шахтный водосброс, с входным порталом, оборудованным тремя сегментными затворами 14.0 м в ширину и 5.5 м в высоту, отметка порога на 1283.5 м.н.у.м., диаметром 12.0 м до вышеуказанного тоннеля. Сразу над соединением с тоннелем, нормальное сечение шахты снижается до суженного сечения диаметром 9.2 м, которое служит контрольной точкой для больших сбросов («перехватное управление»), т.е. рассеивание энергии может случиться в шахте над перехватом (глушителем).



На нижнем уровне шахты есть водосбросной тоннель длиной 585 м с геометрическими характеристиками, схожими с вышеописанным круговым поперечным сечением строительного тоннеля третьего уровня.

Проект 2009 года не включает «глубинные водосбросы». Два нижнеуровневых тоннеля для отвода реки во время строительства будут заглушены после их использования и будут переделаны в безнапорные отводящие тоннели.

#### **1.2.4.1.1 Изменения в проекте 2010 года**

Вышеуказанная схема была модифицирована в 2010 году, когда ИГП выпустило исследование, обновляя проектные характеристики, в основном водосбросных сооружений.

В этом документе предыдущий строительный тоннель третьего уровня был изменен на тоннель, полностью независимый от других, с водоприемником на отм. 1035 м.н.у.м.

Этот тоннель, который пролегает на правом берегу долины приблизительно 1700 м в длину, с 15.00 м круговым сечением диаметра в верховом участке, работающим при напорных условиях; следующие безнапорные участки D-образные, 17.0/16.5 м в высоту и 14.0/13.0 м в ширину.

Его водоприемник расположен очень близко к правой боковой призме плотины первой очереди и пролегает на юго-юго-запад, примерно на 700 м, затем поворачивая на юго-юго-восток для дальнейших 1000 м.

На выходном портале расположен желоб длиной 140 м с носком отброса струи, в нескольких метрах от уровня воды реки.

Также этот тоннель оборудован двумя комплектами колесных затворов и одним комплектом сегментных затворов, все управляющиеся сервомоторами, что отражает обычный подход.

Строительный и эксплуатационный тоннель 3-го уровня первоначально расположенный на отм.1165 м.н.у.м. был понижен до 1145 м.н.у.м., поддерживая концепцию разделения на два тоннеля примерно после 420 м.

То, что было существенно изменено, является концепцией водосбросных тоннелей после сегментных затворов, так как решение с вертикальной шахтой диаметром 13.0 м, в которой достигается эффект кручения, был применен для обоих.

Водосбросные тоннели (круговое сечение диаметром 13 м) расположены приблизительно на отм.990.0 м.н.у.м., т.е. на нижней отметке шахт и оборудованы носками отброса струи.

Вышеописанные верхние водосбросные системы (тоннель + шахтный водосброс) были оставлены без изменений.

### 1.2.5 Ранняя выработка

С начала Рогунских исследований в 70-х годах, было запланировано поэтапное строительство, чтобы начать выработку электроэнергии до завершения плотины.

Более маленькая плотина, встроенная в основную, позволяет поднимать уровень водохранилища до завершения строительства основной плотины. Эта плотина первой очереди имеет отметку гребня на 1110 м.н.у.м.

Также были спроектированы временный водоприемник и два временных агрегата для осуществления ранней выработки.

Основные этапы ранней выработки, согласно проекту ИГП 2009 года:

- Октябрь первого года: перекрытие реки;
- Декабрь третьего года: водохранилище поднимается до 1055 м.н.у.м., вводятся в эксплуатацию временные агрегаты № 5 и 6;
- Сентябрь пятого года: рабочие колеса агрегатов № 5 и 6 заменяются на окончательные, водохранилище на уровне 1100 м.н.у.м. (первая очередь), оно останется на этом уровне несколько лет;
- Сентябрь 11-го года: скорость вращения агрегатов № 5 и 6 меняется на окончательную, также вводятся в эксплуатацию агрегаты № 3 и 4, уровень водохранилища 1165 м.н.у.м.;
- Сентябрь 12-го года: ввод в эксплуатацию агрегатов № 1 и 2, уровень водохранилища равен 1185 м.н.у.м.

### 1.3 Существующие сооружения

На данный момент несколько сооружений уже построено или частично построены. Отчет 1-й фазы подробно рассматривает эти сооружения, а так же их текущее состояние.

Подземные работы, выполненные по Рогунскому проекту, составляют общую длину около 28 км и могут быть поделены на различные группы, согласно их роли в внедрении проекта и их специфических функциях.

Наиболее важными являются **постоянные сооружения** и **машинного зала**, и **трансформаторного помещения** (включая токопроводящие галереи, коллекторы отсасывающих труб и дренажные и цементационные штольни), кабельные тоннели, строительные тоннели, правобережные цементационные штольни плотины, галереи цементационной завесы плотины со стальной облицовкой на обоих берегах, транспортные тоннели T-2, T-3', T-4, T-6, T-8, T-18.

Среди **сооружений первой очереди** стоит отметить **напорные водоводы** (включая монтажную камеру и камеры затворов), **камеры верховых затворов строительных тоннелей** и **соответствующие дренажные и цементационные штольни**.

В конце есть несколько **временных сооружений**, которые используются во время строительства проекта и будут ликвидированы в какой-то момент, согласно ходу строительства. Они включают *транспортные тоннели T-3, T-37, T-37A, T-37', T-7, T-7A, T-22, подходные штольни, соединения и другие второстепенные сооружения*.

Ниже прокомментирован ход работ на наиболее важных сооружениях.

Машинный зал расположен под землей, на левом берегу реки Вахш, чуть выше выступа ядра плотины, с наклонной основной продольной осью, наклоненной по часовой стрелке примерно на 15 градусов, по отношению к направлению запад-восток.

Основные размеры машинного зала приблизительно 220.0 м в длину, 21.0 м в ширину и максимальная высота выработки почти 69.0 м от верхней точки свода до уровня отсасывающих труб.

Проходческие работы достигли отметки 966.5 м.н.у.м. вдоль всей зоны агрегатов от 1 до 4, в то время как в зоне агрегатов № 5 и 6, текущая отметка проходки около 958.20 м, т.е. приблизительно ось спиральной камеры.

Бетонные балки мостового крана, бетонная арка свода и боковые стены были уже готовы. Недавние действия на стройплощадке включают в себя восстановление первоначальной системы анкеров (пассивные и активные анкеры), установленных во время стадии проходки, строительство армированных бетонных колонн, поддерживающих балки мостового крана и некоторые дополнительные сооружения (поперечные балки).

Кроме основного сооружения, было построено несколько прилегающих сооружений (в основном требуемых для подхода и эксплуатации станции в конфигурации первой очереди), т.е. подходные тоннели, токопроводящие галереи для агрегатов № 5 и 6, отсасывающие трубы и коллекторы тех же агрегатов, кабельные галереи и т.д., большая часть соответствующего электромеханического оборудования для первой очереди уже была поставлена. Недавно были построены токопроводящая галерея и отсасывающая труба для агрегата №4.

Трансформаторное помещение было пройдено почти полностью, были установлены крепления и была сделана бетонная обделка свода и боковых стен.

Что касается тоннелей, наиболее важными являются, естественно, строительные тоннели № 1 и 2, которые используются для предоставления защиты от паводков для перемишки и плотины первой очереди.

Два тоннеля были полностью пройдены и почти полностью облицованы, только не хватает водоводов, пересекающих реку.

Строительство тоннелей началось в 1980-х годах и серьезные обвалы произошли в течение первого периода эксплуатации в обоих из них.

Были проведены обширные восстановительные работы по стабилизации обвалов и строительству новой мощной армированной бетонной обделки 1.8 м в толщину, а так же установлена стальная облицовка на участках, наиболее подверженных эрозии из-за наносов.

На данный момент нет никаких подтверждений проблем с местной или общей неустойчивостью и были замечены только незначительные дефекты конструктивной отделки.

На участке, где разлом №35 пересекает тоннели, была применена армированная бетонная отделка толщиной 1.8 м, разделенные на кольца длиной 3 м: это допускает относительное смещение между этими элементами в случае, если возникнут сдвиги в зоне сдвига. Персонал стройплощадки сообщил, что швы между кольцами были уплотнены эластичным наполнителем, который не был показан на чертежах, представленных консультанту.

После оценки, проведенной во время исследований первой фазы, Консультант предложил меры по укреплению, состоящие из дополнительных анкеров, дренажных скважин и дополнительной внутренней армированной бетонной отделки. Также были предложены дренажные штольни на некоторых участках, для предотвращения увеличения давления воды выше значений, принятых при проектировании новой отделки.

Из оставшихся постоянных сооружений стоит отметить, что тоннели T2 и T8 были пройдены и крепь установленная во время проходки включает бетонную отделку первого уровня, но окончательная отделка, которая будет включать меры для разлома №35, пересекающего T2, все еще должна быть установлена. Что касается T18, который предоставляет доступ к верхней камере турбинного водовода, были проведены некоторые работы на начальном участке, но в большей части он должен быть пройден и облицован.

Также частично был построен строительный тоннель третьего уровня (СТ3), был пройден участок водоприемника и были внедрены некоторые соответствующие стабилизационные меры. Наиболее обновленная информация по ходу работ на СТ3 была представлена в параграфе 9.5 раздела 1 – График реализации и строительные методы, том 4.

Из оставшихся основных сооружений первой очереди, некоторые работы должны быть сделаны на напорных водоводах первой очереди, т.е. начальный участок напорного тоннеля и сооружения водоприемника, а также участок турбинного водовода при соединении с машинным залом (включая часть стальной облицовки).

В отношении временных сооружений, наиболее важным является стабилизация тоннеля T-22, который представляет доступ к гребню плотины первой очереди, на отм. 1060 м.н.у.м.

Как отмечается в оценочном отчете 1 фазы, есть несколько сооружений, кроме машинного зала, которые требуют внедрения восстановительных/укрепительных мер для соответствия принятым международным критериям безопасности и эксплуатационной годности.

Для комплекса машинного зала и трансформаторного помещения предлагается установка нового комплекта пассивных и активных анкеров, вместе с применением мультипакерной системы для труб с манжетами (MPSP). Вероятные альтернативы для предложенного набора стабилизационных мер могут быть исследованы и подробно оценены на дальнейшей стадии проектирования. Так же может быть проанализирована установка опор.

Что касается оставшихся сооружений, вмешательства, которые относятся к различным тоннелям, в основном состоят из дополнительных анкеров, дренажных скважин и дополнительной армированной бетонной обделки; в случае некоторых штолен последняя состоит из армированного слоя торкрета.

Должны быть внедрены специальные меры в участках тоннелей, пересекающих разлом №35, состоящие из заливки новой толстой мощной армированной обделки, с поперечными соединениями, которые допускают относительные смещения между «кольцами» в случае сдвиговых эффектов, возникающих в зоне разлома. Этот тип мер, может быть применен в других ситуациях, где тоннели пересекают активные разломы.

В дальнейшем предусмотрена дополнительная цементация вдоль участков двух существующих строительных тоннелей и подводящего тоннеля первой очереди, где зафиксирована высокий коэффициент фильтрации горной породы.

В конце рекомендуется ремонт зон локальных повреждений и незавершенной бетонной обделки с новым армированным бетоном или торкретом для транспортных тоннелей Т-3, Т-37 и Т-37'; вдоль них должна быть установлена стальная сетка для безопасности. Там, где необходимо, должны быть применены решетчатые балки, заделанные в новую бетонную обделку или торкрет, для обеспечения устойчивости участка тоннеля,

Общая схема подземных сооружений в основном связана с месторасположением машинного зала и прилегающих сооружений. Учитывая тот факт, что как было описано в предыдущих разделах, построенный машинный зал останется без изменений для всех вариантов в исследованиях, и все многочисленные существующие сооружения могут быть использованы для включения в постоянную схему проекта, или для выполнения роли для которой они были предназначены.

## 2 ВЫБОР СТВОРА ПЛОТИНЫ, ТИП И ОСЬ

### 2.1 Створ плотины

Створ плотины Рогуна был выбран русскими в советское время и не пересматривался с 1981 года.

Консультант не нашел никаких документов, представляющих исследование вариантов створа или подтверждение текущего створа Рогуна, хотя было выяснено, что первоначально рассматривалось 3 створа.

Тем не менее, можно понять, почему был выбран этот створ:

- Специфическая топография демонстрирует очень узкую по сравнению с оставшейся рекой долину, которая позволяет построить высокую плотину с довольно ограниченным количеством материала.
- Выше по течению от Рогунского створа, Йонахшский разлом проходит вдоль реки по той же оси. Таким образом, ядро плотины может быть расположено поперек активного разлома, что неприемлемо.

Тем не менее, как описано в геологической оценке, конкретно створ Рогуна является «узлом разломов», что является особой характеристикой для створа плотины. Однако, учитывая важное количество существующих сооружений, которые должны быть включены в общую схему, створ плотины был признан приемлемым.

## 2.2 Возможные типы плотин

Учитывая топографические условия, узкость створа были предложены различные типы плотины:

- a. Каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром,
- b. Бетонная арочная плотина,
- c. Гравитационная плотина RCC,
- d. Каменно-насыпная плотина с бетонной призмой,

Другие типы плотины также должны быть рассмотрены; они являются комбинацией типов, как описано выше:

- e. Бетонная арочная гравитационная плотина
- f. Каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром, чье верховое основание обделано блоками укатанного бетона
- g. Каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром, чья низовая подошва обделана блоками укатанного бетона

Все вышеуказанные типы плотин были предложены в прошлом, но не всегда для НПУ 1290 м.

## 2.3 Сравнение вариантов плотин

### 2.3.1 Общее

Преимущества и недостатки каждого варианта сравниваются на основе следующих соображений:

- Ссылки на плотины этого типа выше 200 м,
- Затем чувствительность варианта плотины к:
  - o Сейсмическим явлениям,
  - o движениям вдоль разломов
  - o Характеристики аргиллита/алевролита,
  - o Неравномерная просадка,

- o Растворение соли в Йонахшском разломе,
- o недооценка паводков или неэффективные водосбросные сооружения.
- o неожиданно крупные происшествия, как, например, оползни в верховьях.

Таблица 2.3.1 представляет сравнение. Должны быть добавлены следующие комментарии:

Ссылки на плотины выше, чем 200 м (см. Таблица 2.3.2),

Причиной введения рассмотрения ссылок является проверка того, что достаточно опыта в строительстве каждого предложенного типа высоких плотин.

- Есть достаточно ссылок на построенные арочные плотины и каменно-насыпные плотины с непроницаемым ядром. Максимальной высотой построенных плотин в каждой категории являются 292 и 300 м соответственно. Арочная плотина высотой 305 м сейчас строится в Китае.
- Недостаточно опыта в строительстве высоких гравитационных плотин из укатанного бетона (RCC плотины), максимально достигнутая высота равна 217 м (в Китае). На данный момент строится плотина высотой 249 м в Эфиопии.
- Для каменно-насыпной плотины с бетонной призмой, максимальная высота построенной плотины этого типа равна 233 м.

Вкратце, без рассмотрения любых других соображений по гидрологии или геологии, технические аспекты проектирования и строительства очень высоких арочных плотин или каменно-насыпных плотин с внутренними «непроницаемыми» ядрами полностью освоены. Для двух других основных типов плотин, максимальная достигнутая высота на сегодняшний день примерно равна чуть выше 200 м; повышение до высоты Рогуна около 100 м, что является значительным технологическим шагом.

Касательно трех комбинированных вариантов, нет никаких ссылок на плотины такого типа, выше, чем 200 м. Несомненно, будет не резонно предлагать арочную RCC или даже арочно-гравитационный вариант для такой высокой плотины. С другой стороны, опять без рассмотрения гидрологии и геологии, нет никаких причин для отвержения комбинации RCC блоков, не выше, чем 150 м. с каменно-насыпной плотиной с внутренним «непроницаемым» ядром.

### **2.3.2 Чувствительность тела плотины к сейсмическим явлениям**

Здесь рассматривается только отклик данной плотины на землетрясения; чувствительность к движениям вдоль разломов является темой для следующего раздела.

На самом деле, если хорошо спроектирована и хорошо построена, чувствительность тела плотины к сейсмическим явлениям является незначительной, каким бы не был тип плотины. На самом деле, возникновение значительных повреждений в плотинах из-за землетрясения довольно редко.

Для бетонных плотин не было зафиксировано случаев прорыва плотины, кроме Ши-Канг в Тайване; но в последнем случае это было из-за пересечения разломом оси плотины. Для других бетонных плотин повреждения были небольшие, обычно трещины, побольше и поменьше; в случае Рапель (арочная плотина в Чили), повреждения появились у водоприемной башни и водосбросного сооружения. Такие повреждения могут быть отремонтированы и не угрожают плотине.



Dam type	References of dams higher than 200 m	Sensitivity of dam body to seismic events	Sensitivity to movements along faults (with part of dam founded on faults)			Risk related to salt fill of Lonakhsh fault	Sensitivity to argilites /siltstones characteristics	Sensitivity to differential settlements	Sensitivity to flood underestimate or inefficient spillways	Sensitivity to unexpected large events as uspstream landslides and "Glof"
			Lonakhsh	N70	N35					
Impervious Core Rockfill dam	9		Upstream shoulder	Shoulders and core	Downstream shoulder					
Concrete Arch dam	23			In the upper part of the banks						
Gravity RCC dam	5			In the banks						
Concrete Face Rockfill dam	10		Upstream shoulder	In the upper part of the banks	Central part and downstream shoulder					
RCC Arch Gravity or Arch dam	Highest dam 140 m (china)			In the banks						
Rockfill dam with earth core dam with upstream RCC block cutting the heel	-		Upstream shoulder and block	Shoulders and core	Downstream shoulder					
Rockfill dam with earth core dam with downstream RCC block cutting the toe	-		Upstream shoulder	Shoulders and core	Downstream shoulder and block					
Comments		The risk is moderate if well designed (adjustment of the slopes, ect)	No reliable mitigations measures - The risk of movement can not be avoided			Risk can be mitigated by adequate design, monitoring and maintenance	The higher is the sensitivity and the deeper are the excavations		Risk can be removed by adequate studies and design	Risk can be removed by adequate studies and design
			Sensitivity level							
			No sensitivity							
			Moderate							
			High							
			Very High							

Таблица 2.3.1 – Чувствительность вариантов плотин к различным факторам рисков

Type of dam	Name (country)	Height	Comple. Date
Gravity RCC dam	Basha Damer (Pakistan)	270	UD
	Gibe III (Ethiopia)	249	expect. 2015
	Longtan (China)	217	2009
	Huangdeng (China)	202	expect. 2016
	Guangzhao (China)	201	2009
Concrete Face Rockfill dam	Shuibuya (China)	233	2008
	Houziyan (China)	224	expect. 2017
	Nam Ou (Laos)	224	planned
	Nam Ngum 3 (Laos)	220	UC
	Jiangpinghe (China)	219	UC
	Agvaliysk (Russian Fed.)	215	UD
	Munda (Pakistan)	213	expect.2021
	Bakun (Malaysia)	205	2010
	Campos Novos (Brazil)	200	2007
	Xe Kaman 2 (Laos)	200	planned
	Clay Core Rockfill dam	Nurek (Tadjikistan)	300
Chicoasen (Mexico)		261	1980
Tehri (India)		261	1997
Guavio (Colombia)		246	1989
Mica (Canada)		246	1973
Chivor (Colombia)		237	1975
Oroville (USA)		230	1968
San Roque (Phippines)		210	2001
Keban (Turkey)		207	1974
Concrete Arch dam		Bakthiari (Iran)	315
	Jingping (China)	305	UC
	Xiaowan (China)	292	2010
	Xiluodu (China)	286	UC
	Inguri (Georgia)	272	1980
	Vajont (Italy)	262	1961
	Mauvoisin (Switzerland)	251	1957
	Laxiwa (China)	250	2009
	Deriner (Turkey)	247	2012
	Ertan(China)	240	2000
	Ermenek (Turkey)	235	2009
	El Cajon (Honduras)	234	1985
	Chirkey (Rus. Fed.)	233	1978
	Goupitan (China)	232,5	2011
	Karun IV	230	2011
	Mrantinje (Montenegro)	220	1976
	Contra (Switzerland)	220	1965
	Glen Canyon (USA)	216	1966
	Daganshan (China)	210	UC
	Berke (Turkey)	210	2002
	Luzzone (Switzerland)	208	1963
	Dez (Iran)	207	1962
	Villarino	202	1970

UD Under design

UC Under construction

**Таблица 2.3.2 – Ссылки на плотины выше, чем 200 м**

Что касается насыпных плотин, опыт показывает, что происшествия случаются только с очень маленькими плотинами, или с плотинами, расположенными на разжижаемых почвах или с намывными плотинами. Тип зафиксированных повреждений обычно трещины (поперечные и продольные) или просадки.

Недавно (в 2008 году), каменно-насыпная плотина с бетонной поверхностью Зипингпу в Китае подверглась землетрясению магнитудой 8, с эпицентром в 17 км. Бетонная поверхность подверглась значительным повреждениям, которые могли бы угрожать плотине, если водохранилище было бы полным.

Более того, каменно-насыпная плотина с бетонной поверхностью недавно подверглась трудностям и неприемлемым кратковременным просадкам с повреждением бетонной поверхности.

Резонным заключением является то, что среди всех предложенных вариантов есть некоторое сомнение относительно каменно-насыпной плотины с бетонной поверхностью. Дополнительно ремонт бетонных плит потребует полное опустошения водохранилища, что будет крайне проблематично (повторное заполнение водохранилища займет примерно от 10 до 15 лет).

### **2.3.3 Возможные меры по снижению последствий**

Если, в соответствии с расчетами, поведение плотины будет неудовлетворительным, тогда меры по снижению последствий будут состоять из приспособления формы плотины или применения специальных мер для рассматриваемой плотины.

#### Чувствительность к движениям вдоль разломов

Есть три основных типа разломов, которые могут вызвать беспокойство для различных типов плотин:

- Наиболее верховым является Йонахшский разлом, проходящий вниз по течению; он имеет вертикальную скорость сдвига 0.5-1.8 мм/год. Порядок магнитуды движения во время крупного землетрясения оценивается в 1 м.
- Наиболее низовым является разлом №35, пролегающий вверх по течению; он имеет вертикальное смещение; разлом №35 и Йонахшский разлом разграничивают «клин»двигающийся вверх. Сравнение между развитием двух разломов приводит к оценке возможного движения разлома №35 во время мощного землетрясения на несколько сантиметров.
- Разлом №70 параллелен разлому №35 и расположен между двумя предыдущими разломами, поблизости от оси плотины, его скорость смещения очень маленькая. Тем не менее, ввиду феномена внезапного освобождения напряжения, могут возникнуть смещения во время землетрясений, которые могут достигать нескольких сантиметров.

Дополнительно, в вышеуказанном «клине» есть ряд разломов, параллельных разлому №35, которые могут двигаться во время землетрясений, как и разлом №70 (включая те, которые будут затронуты сейсмичностью). Поэтому следует избегать любое бетонное сооружение, обеспечивающее водонепроницаемость плотины в этой зоне; очень велик риск возникновения трещин из-за движения разломов. С этой точки зрения

каменно-насыпные плотины с бетонной поверхностью, RCC гравитационные и арочные плотины выглядят очень рискованными.

С другой стороны, каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром может принимать движения от разломов, возможные смещения не настолько большие и могут быть приняты при помощи соответствующих мер, как например увеличение фильтров или переходных зон. Поэтому ясно, что ядро плотины не должно располагаться на Йонахшском разломе; желательно, избегать прямого расположения ядра на разломе №35.

Следует избегать решения, получаемого из предыдущего, состоящее из облицовывания верховой призмы плотины блоками RCC, так как нельзя допустить, чтобы бетонные блоки частично располагались на Йонахшском разломе.

С другой стороны, другое решение, состоящее из облицовывания низовой призмы блоками RCC осуществимо, при условии, что блоки не будут расположены на разломе №35.

#### *Возможные меры по снижению последствий*

Невозможно блокировать, даже локально, движение активных разломов, поэтому смещения должны приниматься телом плотины.

### **2.3.4 Риски, связанные с растворением соли в Йонахшском разломе.**

Риск, связанный с растворением соли в Йонахшском разломе, а так же соответствующие меры по снижению последствий детально описаны в отчете нулевой фазы.

Предлагаемая техника снижения последствий является комбинацией гидравлической и цементационной завесой оголовка пласта. Цементация должна быть оптимальной, и должна проверяться испытаниями Люжона и если понадобится (везде наблюдаются значения выше, чем 1 Люжон) заново проведена, пока испытания воды везде не начнут показывать значения ниже, чем 1 Люжон.

Наиболее чувствительной с точки зрения перспектив риска является каменно-насыпная плотина с бетонной поверхностью. Чувствительность каменно-набросной плотины с внутренним ядром является незначительной, если ожидаемая глубина выщелачивания довольно маленькая, как показано в отчете нулевой фазы; естественно единственным компонентом плотины вызывающим озабоченность является верховая призма, которая может легко принимать локальные смещения. Если выщелачивание будет глубже, риск может стать большим.

Чувствительность бетонных плотин, чье основание далеко от верхней части Йонахшского разлома, остается малочувствительным к выщелачиванию соли.

#### *Меры по снижению последствий*

С подходящим проектом, мониторингом и обслуживанием, этот риск можно сильно уменьшить. Дальнейшие подробности приведены в отчете нулевой фазы.

### **2.3.5 Чувствительность к глинистым сланцам/алевролитам/аргиллитам**

Глинистые сланцы/алевролиты/аргиллиты (обозначенные как алевролиты в этом разделе) представлены в различных формациях, находящихся в основании плотины.

Согласно проведенным исследованиям, лабораторным испытаниям, деформационным измерениям (стены выработки машинного зала), деформативность неповрежденного аргиллита/алевролита является относительно высокой (от 4 до 5 ГПа); дополнительно, как только этот материал подается на погрузку (плотина) или разгрузку (выемка), оседание вызывает дополнительные деформации, поэтому долгосрочный модуль этого материала ниже, чем значения данные выше.

Неповрежденный скальный массив относится категории IV в российской классификации, кроме того:

- категория III является зоной разуплотненной скальной породы; измеренная перпендикулярно от поверхности, глубина основания третьей категории зависит от формации, но около 100м (значение меньше на отметке ниже 1100 м).
- Категория II является зоной разуплотненного и немного выветренной скальной породы; глубина основания второй категории около 70 м
- Категория I соответствует выветренной скальной породе; глубина основания первой категории равна около 35 м.

Высокой бетонной гравитационной плотине необходимо основание с долгосрочным модулем высокой эластичности; основание второй категории выглядит минимальным; минимальная соответствующая глубина должна быть около 70 м выше 1100 и около 35 м ниже этой отметки. Ввиду чрезвычайно высокого уровня нагрузки, вызываемой арочной плотиной высотой 330 м, поэтому неясно, является ли основание из аргиллита приемлемым; этот тип плотины должен быть только крепким, неповрежденном песчанике.

Уровень нагрузки вызываемый каменно-насыпными плотинами (или с внутренним непроницаемым ядром, или с бетонным покрытием) на основание меньше; дополнительно они могут адаптироваться к умеренным деформациям (меньше для каменно-насыпной плотины с бетонной поверхностью, чем для плотины с внутренним непроницаемым ядром). Таким образом они могут располагаться прямо на поверхности скальной породы первой породы (модуль немного больше, чем 1 ГПа).

Для решений интегрирования RCC блоков в каменно-насыпную плотину, для признания этих блоков приемлемыми на алевролите, необходимо обеспечить:

- Высота RCC блоков должна быть ограничена 150 м,
- От блоков RCC не требуется водонепроницаемости; это не барьер для воды (это условие дает возможность установки блоков RCC в верхней части алевролитов первой категории).

### *Меры по снижению последствий*

Если долгосрочная просадка, получающаяся в результате расчетов чересчур высокая, скорее всего, решением будет углубление основания плотины.

### **2.3.6 Чувствительность к разностным просадкам**

Большинство из формаций, представленных в основании плотины состоят из нерегулярно переслаивающихся субвертикальных слоев песчаника и алевролита. Песчаник имеет меньшую деформативность, чем алевролит. Таким образом, такая высокая плотина может подвергнуться значительным разностным просадкам.

Ясно, что чувствительность бетонных плотин к таким разностным просадкам гораздо выше, чем у каменно-насыпных плотин.

### *Меры по снижению последствий*

Так как напластование является субвертикальным, есть несколько мер по снижению последствий; может быть углубление основания плотины поможет снизить разностные просадки до приемлемым значений.

### **2.3.7 Чувствительность к недооценке паводков или недостаточные водосбросные сооружения**

Недооценка паводка или неэффективные водосбросные сооружения могут привести к переливу плотины. Естественно риск прорыва гораздо выше у каменно-насыпных плотин, чем у бетонной плотины, и в случае Рогуна последствия будут катастрофичны и увеличены потенциальным последующим прорывом Нурека.

### *Меры по снижению последствий*

Этот риск может быть убран при помощи довольно консервативных критериев проектирования и чрезвычайно тщательной оценки паводка. В частности использование максимально возможного паводка обязательно для этого проекта. Также, принятие поверхностного водосброса, который более надежен, чем тоннельный водосброс, делает свой вклад в снижение рисков перелива плотины.

Следует отметить, что бетонная плотина не является свободной от всех рисков: в случае перелива, вода падающая с гребня может повредить некоторые части основания.

## **2.4 Другие факторы, рассматриваемые для сравнения вариантов плотин**

### **2.4.1 Строительство по этапам**

Для проекта Рогуна 2009 года, упоминается две очереди:

- Первая очередь соответствует плотине с гребнем на отн. 1110 м, НПУ водохранилища 1100 м.н.у.м., с двумя установленными агрегатами, чья эксплуатация начнется как только уровень водохранилища достигнет отн. 1060 м.н.у.м.

- Второй и окончательной очередью является плотина с гребнем на отм. 1300 м.н.у.м.

На самом деле, термин «очередь» не имеет обычного значения для плотин, т.е. очередь строительства и эксплуатации, которая остается на долгое время (например, плотина Росейрес в Судане). Первая «очередь» здесь соответствует установке и эксплуатации агрегатов № 5 и 6; в случае Рогуна, строительство плотины предполагается быть постоянным, до окончательной отметки гребня в 1300 м.н.у.м.

Таблица 2.4.1 представляет для каждого варианта:

- Первое, возможность строительства по этапам,
- Затем возможность регулярного повышения уровня водохранилища в пределах каждого этапа.

Вариант плотины	Возможность строительства по этапам	Возможность регулярного повышения уровня водохранилища для каждого этапа
Каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром	Легко	Да
Бетонная или RCC арочная	Трудно или невозможно	Трудно или невозможно
Гравитационная RCC	Да	Да
Каменно-насыпная с бетонной поверхностью	Да	Нет
RCC арочная гравитационная	Да	Трудно или невозможно
Каменно-насыпная плотина с земляным ядром с бетонной облицовкой зуба верховой грани	Да	Да
Каменно-насыпная плотина с земляным ядром с бетонной облицовкой низовой подошвы	Да	Да

**Таблица 2.4.1 – Возможность этапов в строительстве плотины**

Нет никаких проблем для каменно-насыпной плотины с внутренним непроницаемым ядром или двух вариантов, которые исходят от нее.

Каменно-насыпная плотина с бетонным покрытием может быть построена и эксплуатироваться по этапам. Но, для каждого этапа водонепроницаемое верховое бетонное покрытие может быть установлено только когда плотина достигнет гребня каждого этапа. Поэтому вода в водохранилище не может следовать за подъемом плотины в пределах каждого этапа.

Что касается бетонной или RCC плотины, возможно поэтапное строительство плотины с одновременным подъемом уровня водохранилища. Это нелегко или для некоторых форм невозможно поэтапно строить арочную плотину. Для арочных гравитационных

плотин возможно поэтапное строительство, но может быть трудно обеспечить одновременный подъем уровня водохранилища и плотины.

#### 2.4.2 График строительства

Согласно исследованиям, проведенным ИГП, общая продолжительность строительства Рогунской плотины для НПУ 1290 м равна около 14 лет. Имея общий объем плотины около 70 млн м<sup>3</sup>, средняя скорость укладка, включая все материалы около 420 000 м<sup>3</sup>/месяц.

Так как количество типов требуемого материала гораздо меньше для каменно-насыпной плотины с бетонной поверхностью, чем для каменно-насыпной плотины с внутренним непроницаемым ядром, ее легче строить. Дополнительно, так как там нет ядра, она может быть менее чувствительна к зимним условиям. Поэтому мы можем предположить, что средняя скорость укладки каменно-насыпной плотины с бетонной поверхностью может быть выше. Однако фактическая экономия будет не такой важной, около одного года следует добавить на укладку бетонных плит (в три этапа по 110 м). В конце концов, общая продолжительность строительства проекта с каменно-насыпной плотиной с бетонной поверхностью будет примерно одинаковая с той, что и у каменно-насыпной плотины с непроницаемым ядром.

Как обсуждалось ранее, в Рогуне, RCC плотине может потребоваться более глубокое основание, чем для каменно-насыпной плотины. Приемлемое основание может быть найдено в основании скальной породы второй категории; соответствующий объем плотины оценивается в 16.5 млн м<sup>3</sup>. Основываясь на обычных темпах строительства, продолжительность строительства RCC плотины может быть около 14 лет. Чтобы получить общую продолжительность всех работ, мы должны добавить время для глубокой выемки: от 70 м над отм. 1100 до 35 м под ней; объем может быть больше 5 млн м<sup>3</sup>. Вкратце, это может быть трудно осуществить проект с RCC плотиной менее чем за 15 лет.

Если мы предположим, что основание арочной плотины расположено на скальной породе второй категории, что довольно оптимистично, то при помощи коэффициента гибкости Ломбарди, объем оценивается в 10 млн м<sup>3</sup>. Самой высокой завершенной арочной плотиной в мире является Ксиаован (Xiaowan) в Китае. Эта плотина 292 м в высоту, ее объем около 7,5 млн м<sup>3</sup>; продолжительность работ составила около 10 лет. С такой же средней скоростью укладки, продолжительность работ будет около 13 лет. Учитывая выемку, общая продолжительность работ будет около 13 лет. Учитывая выемку, общая продолжительность работ будет не меньше 14 лет.

Вышеприведенный анализ показывает, что нет значительной разницы между продолжительностью строительных работ для различных вариантов. Тем не менее естественным преимуществом насыпных плотин является то, что несколько строительных тоннелей уже пройдено и значительная часть подготовительных работ уже завершена.

Что касается других вариантов, будучи и не совсем обычными (арочная RCC плотина) или более сложными (RCC блоки обрезающие подошвы каменно-насыпной плотины), это все может отразиться в виде более длительного строительного графика, чем для других вариантов.



### **2.4.3 Другие компоненты Рогунского проекта**

Несколько компонентов проекта, которые не зависят от типа плотины, такие как:

- Система отвода,
- Машинный зал,
- Трансформаторное помещение,

Естественно, значительная часть работы уже осуществлена, и эти компоненты должны использоваться в максимальной степени.

С другой стороны, часть водосбросных сооружений и водосбросные сооружения нижнего уровня может быть расположена в бетонных плотинах. Распределение между водосбросными сооружениями в бетонной плотине и в берегах может зависеть от водопрпускной способности, которая может быть принята для короткого расстояния от подошвы плотины в узкой плотине, без провоцирования эрозии основания поблизости от плотины.

Схема расположения водосбросных сооружений для каменно-насыпной плотины с бетонной поверхностью будет точно такой же, что и для каменно-набросной плотины с внутренним ядром.

Как обсуждалось в отчете по управлению наносами, ввиду большого количества материала, который будет откладываться в водохранилище, мы считаем необходимым реализовать специальные меры, чтобы максимально продлить срок эксплуатации электростанции. После первоначальной попытки внедрить промывной тоннель, ввиду трудности его эксплуатации и недостатков, связанных с трудными условиями на его выходных порталах в сай Оби-Шур, было решено предложить многоуровневые водоприемники, которые позволят продолжить эксплуатировать станцию даже когда наносы будут выше напорного водоприемника. Также предусмотрена возможность пропускать взвешенные наносы через турбины; однако решение в этом отношении может быть принято только после проведения дальнейших исследований, в частности, в связи с возможным негативным влиянием взвешенного материала, транспортируемого потоком по гидромеханическому оборудованию.

Это решение использует систему напорных водоводов, связанную с различными вариантами плотины и не требует специального отдельного анализа.

## **2.5 Выбор типа плотины**

Синтез элементов сравнения ранее рассмотренных типов плотин, подробно описанных выше, приведен в таблице 2.3.1.

Для каждого предмета сравнения и каждого типа плотины, степень контроля при соответствующем действии, вытекает из анализа:

- Проблематично – и не может быть предложено подходящей меры – например, это ненадежно предлагать установить бетонную плотину на активный разлом, чье движение нельзя контролировать.

- Проблематично, но может быть решено при помощи подходящих мер – например при помощи консервативного сухого надводного борта и соответствующего мониторинга в зоне водосбора (для рисков паводков из-за таяния ледников или неустойчивости берегов водохранилища), риск перелива может быть снижен.
- Элемент должен быть внимательно изучен – например установка очень высокой RCC плотины на алевролите требует очень тщательных исследований, чтобы убедиться, что основание сможет выдержать высокую нагрузку вызываемую сооружению, но в принципе это не проблематично.
- Не проблематично

Следующие комментарии исходят после изучения этой таблицы.

- Каменно-насыпная плотина с бетонной поверхности страдает от нескольких затруднений:
  - Нет никаких ссылок на плотины этого размера,
  - Бетонная поверхность очень чувствительна к движению активных разломов,
  - Риски, связанные с заполнением соли в Йонахшском разломе выше, чем для каменно-насыпной плотины с внутренним непроницаемым ядром,
  - Эта плотина очень чувствительна к переливу,
  - Невозможно обеспечить одновременный подъем уровня водохранилища вместе с плотинной.
- Каменно-набросная плотина с внутренним непроницаемым ядром, чья верховая призма облицована RCC блоками так же неосуществима, так как будет невозможно предотвратить, чтобы RCC блоки находились на Йонахшском разломе.
- Затем арочные плотины (условно бетонные и RCC) имеют два основных ограничения:
  - Они несовместимы с активными разломами семейства разлома №35 (так же как и разлома №70)
  - Они не позволяют постоянного наполнения водохранилища во время строительства.
- Гравитационная RCC плотина так же несовместима с активными разломами.
- В отличие от предыдущих типов плотины, каменно-насыпная плотина с непроницаемым ядром не подвержена рискам, которые невозможно контролировать. В частности она остается безопасной, когда просаживается на активных разломах, предусматривая, что смещения будут оставаться

умеренными и будут использоваться соответствующие критерии проектирования.

Это заключение соответствует утверждениям из бюллетеня ICOLD №112 «Неотектоника и плотины» (1998 г.):

“Есть достаточно подтверждений, что соответствующе спроектированная насыпная плотина может принять без прорыва крупные смещения вдоль разломов пересекающих тело плотины” (раздел 7.2).

“В некоторых случаях, это невозможно или очень невыгодно отвергнуть створ с потенциалом для одновременной активности разломов в основаниях. В таких случаях ответом является консервативный проект плотины, применение крупных переходных зон из несвязных материалов” (раздел 8.4).

Риски для этого типа плотины, которые требуют снижения, путем применения соответствующих мер:

- Перелив – меры уже описаны выше,
  - Эффект от растворения соли Йонахшского разлома – меры по снижению последствий приведены в отчете нулевой фазы исследований.
- Комментарии для каменно-насыпной плотины с внутренним непроницаемым ядром, чья низовая призма облицована RCC блоками являются идентичными с комментариями к предыдущему варианту. Тем не менее, должны быть проведены тщательные исследования для основания RCC блоков, как и в случае решения с RCC плотиной.

В завершение, решение с каменно-насыпной плотиной с внутренним непроницаемым ядром, которое предложено и спроектировано для Рогунского проекта является наиболее подходящим типом плотины. Критерии проектирования для этой плотины должны быть адаптированы к конкретным условиям этого створа, которые являются:

- Активные разломы,
- Присутствие соли в Йонахшском разломе,
- Высокая сейсмичность,
- Риски таяния ледников и неустойчивость берегов водохранилища



## 2.6 Местоположение оси плотины

Ввиду топографических условий, есть небольшая возможность значительно сдвинуть ось каменно-насыпной плотины с внутренним непроницаемым ядром.

Естественно, плотина расположена в узком ущелье, недостаточно длинном для вмещения всей плотины; в результате призмы в верхнем и нижнем бьефе изгибаются

Выше по течению подошва плотины ограничена водоприемниками строительных тоннелей установленных на левом берегу.

Ниже по течению:

- С одной стороны, подошва плотины не должна блокировать слияние с Оби-Шуром, левобережным притоком,
- С другой стороны, должно оставаться достаточно места для расположения различных водосбросных сооружений.

Поэтому в следующих этапах проекта может быть предложено очень ограниченное изменения расположения оси плотины.

## 3 ВЫБОР МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ МАШИННОГО ЗАЛА И ТИП

Как было указано выше, выработка машинного зала почти полностью построена, а так же несколько помещений жестко связанных с ней.

Тем не менее, были замечены определенные проблемы во время инспекций, проведенных консультантом, которые потребовали интерпретации и анализа в свете оценки пригодности сооружения для включения в проект. Подробности приведены в отчете первой фазы и соответствующих приложениях.

На деле, были зафиксированы значительные деформации стен, в размере почти 600 мм в части алевролита до августа 2008 года и дальнейших 200 мм до августа 2012 года, последнее произошло скорее всего из углубления проходки в зоне агрегатов № 5 и 6.

Есть трещины и повреждения на бетонной обделке сооружений в различных местах боковых стен выработки и соседних сооружениях, как следствие процесса конвергенции, а так же другие менее значительные проблемы.

Проектировщиками ИГП и консультантом были сделаны модели для анализа устойчивости комплекса машинного зала и трансформаторного помещения, результаты прокомментированы в отчете первой фазы.

Получившиеся в результате выводы после проведения моделирования консультантом, подтверждают, что текущее состояние выработки критическое и что при предыдущих предложенных проектных решениях ее устойчивость не может быть гарантирована. Поэтому Консультантом был предложен набор стабилизационных мер, которые включают активные и пассивные анкеры, а так же адаптацию мультипакерных труб с манжетами (MPSP), которая усилит разгруженную скальную породу «зоны целика» между двумя выработками и может быть использована для укрепительной

цементации. Этот набор стабилизационных мер, которые подробно описаны в отчете по первой фазе, должен быть продолжен вдоль продольной оси выработки, начиная от западного конца (сторона шестого агрегата) в длину до 115 м. При осуществлении этих мероприятий, машинный зал может быть доведен до требуемых условий безопасности и использован для того объема работ, для которых был построен. Могут быть исследованы альтернативы для мультипакерной системы для труб с манжетами. Например, может быть проведена интенсивная кампания по укрепительной цементации и установлены пассивные анкеры с двумя наконечниками, пересекающих весь породный целик между двумя выработками. Это и любое другое возможное предложенное решение должно быть детально оценено на более позднем этапе проектирования.

Основываясь на вышеуказанных выводах, и учитывая текущий ход работ строительства, консультант считает, что нет никаких причин искать альтернативу сооружению машинного зала, которое уже пройдено и в которое Заказчик уже вложил значительные инвестиции.

Следует отметить, что возможная альтернатива, которая могла быть рассмотрена в случае если результаты анализа устойчивости были бы отрицательными, имела бы очень тяжелое последствие на всю схему расположения проекта, подразумевая не только строительство нового машинного зала, но так же и большого числа других сооружений, привязанных к нему, таких как трансформаторное помещение, дренажные галереи, водоводы первой очереди, подходной тоннель, отсасывающие трубы и коллекторы, кабельные галереи и т.д.

Что касается самого машинного зала, следует напомнить, что максимальная установленная мощность, рассматриваемая в исследованиях вариантов равна 3600 МВт, как отмечено в методологии ИТЭО, т.е. мощность, для которой было спроектировано текущее сооружение. Для вышеуказанного, основываясь на оценках консультанта, машинный зал может принять генерирующее оборудование, соответствующее различным вариантам, предложенным в исследованиях, которые предусматривают одинаковое количество агрегатов, как и в первоначальной схеме, без необходимости значительных модификаций.

Следует отметить, что на более раннем этапе исследования, когда устойчивость машинного зала еще не была оценена, были рассмотрены альтернативные решения.

Среди них, возможность проходки для новой выработки машинного зала в той же зоне, что и существующий, но с другой стороны по отношению к подходному тоннелю. Подход мог бы быть обеспечен через участок тоннеля ответвляющегося от того Т-4, и соединительный тоннель к существующим кабельным галереям, проходя над тем же Т-4, мог бы допустить тот же маршрут кабелей через те же галереи.

Следует отметить, что новый машинный зал может быть спроектирован для вмещения только двух агрегатов, так как только часть существующей выработки в алевролите была признана неподходящей для внесения в проект. На самом деле маловероятно, что вся существующая выработка непригодна для использования, так как песчаник показал гораздо более лучшие геомеханические свойства, чем скальная порода алевролита и таким образом, как минимум участок, соответствующий агрегатам от 4 до 1 пригоден для использования.

Так же рассматривался наружный машинный зал, в случае плотины с более коротким основанием, чем у каменно-насыпной или каменно-насыпной с бетонным покрытием.

Где бы ни было найдено подходящее местоположение, наружный машинный зал обычно имеет некоторые преимущества по отношению к подземному решению, такие как:

- Обычно строительные работы быстрее и дешевле чем в подземном варианте.
- Доступность лучше и легче доставлять материалы и проводить монтаж оборудования; так же легче найти решения в случае если потребуются модификации при столкновении с проблемами или нуждами возникающими на этапе ввода в эксплуатацию.
- Обычно лучше доступность в эксплуатационный период.

С другой стороны, в конкретном случае Рогуна, следует рассмотреть, что тяжелые погодные условия во время зимы могут отрицательно повлиять на график строительства, что не случится в текущем подземном решении, таким образом одно из преимуществ выбора наружного местоположения теряется или сильно снижается.

Так же есть серьезный риск, связанный с возможными паводками, который может возникнуть если снова произойдет оползень или сель, похожий на тот, что уже был зафиксирован около 20 лет назад.

В конце, строение участка ущелья не очень благоприятно для такого типа решения, из-за очень крутых берегов, которые могут потребовать крупных выемок и стабилизационных работ, если бы машинный зал находился на берегу реки.

Ниже по течению, после поворота реки, структурные и геологические условия на левом берегу так же не очень благоприятные. И из-за характеристик основания и из-за трудности нахождения подходящего маршрута для напорных водоводов, в то время как на другом берегу несколько выходных порталов гидросооружений могут создавать серьезные помехи напорным водоводам, а так же другим связанным сооружениям машинного зала, в то время как его эксплуатация может быть ухудшена близостью водосборов.

Также, следует рассмотреть машинный зал на правом берегу реки, с разработкой абсолютно новой напорной системы водоводов и соответствующих подходов. Также, в этом случае, этот вариант может привести к отмене всех уже сделанных работ, кроме строительных тоннелей СТ1 и СТ2: это решение может быть оправдано, есть только полностью отказаться от существующей выработки машинного зала. Подчеркивается, что система водоводов может быть предусмотрена на длину примерно 2 км, чтобы достичь правого берега, в зоне относительно свободной от других гидротехнических сооружений, с последующей достаточно высокой стоимостью.

Должно быть более подробно рассмотрено, что отводящие тоннели машинного зала могут быть расположены вблизи выходных порталов различных гидротехнических сооружений, то есть их эксплуатация может быть серьезно затруднена во время пропуска паводков из-за турбулентности, возникающей в реки под влиянием струй. Также можно ожидать недостатки из-за возможных размывов на месте водобойных колодцев.

Поэтому в любом случае, учитывая текущий ход работ, существующее решение признано самым подходящим с точки зрения графика осуществления и с экономической точки зрения.

## 4 ВЫБОР ВАРИАНТОВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как указано в техническом задании ИТЭО, консультант изучает 3 варианта НПУ и 3 установленной мощности для каждого НПУ, что в итоге дает 9 исследованных вариантов.

### 4.1 Нормальный подпорный уровень (НПУ)

Максимальный НПУ рассматриваемый ИГП: 1290 м.н.у.м., т.е. плотина высотой 335 м. Это максимальный НПУ, предусмотренный в проекте 1978 года. Не рекомендуется превышать эту высоту, ввиду проблем с безопасностью и окружающей средой.

Планируется, что эта конфигурация будет работать в режиме полного задержания наносов, с ожидаемым срок эксплуатации от 150 до 200 лет, так как никакие стратегии по управлению наносами неприменимы из-за высоты плотины.

Модификация плотины / вывод из эксплуатации в долгосрочной перспективе должны быть учтены в экономическом анализе.

Минимальный НПУ является минимальным уровнем для водохранилища проекта, с ожидаемым сроком эксплуатации хотя бы 50 лет. Любая конфигурация с уровнем НПУ ниже 1220 будет русловой ГЭС, как первая очередь. Стратегии управления наносами, направленные на устойчивость проекта, могут быть возможны на этой отметке.

Третьим вариантом является среднее посередине, т.е. 1255 м.н.у.м.

### 4.2 Установленная мощность

Как указано в техническом задании, максимальная установленная мощность, которую следует рассматривать в исследовании равна 3600 МВт, той что была выбрана ИГП.

Для каждого варианта НПУ было исследовано 3 проектных мощности:

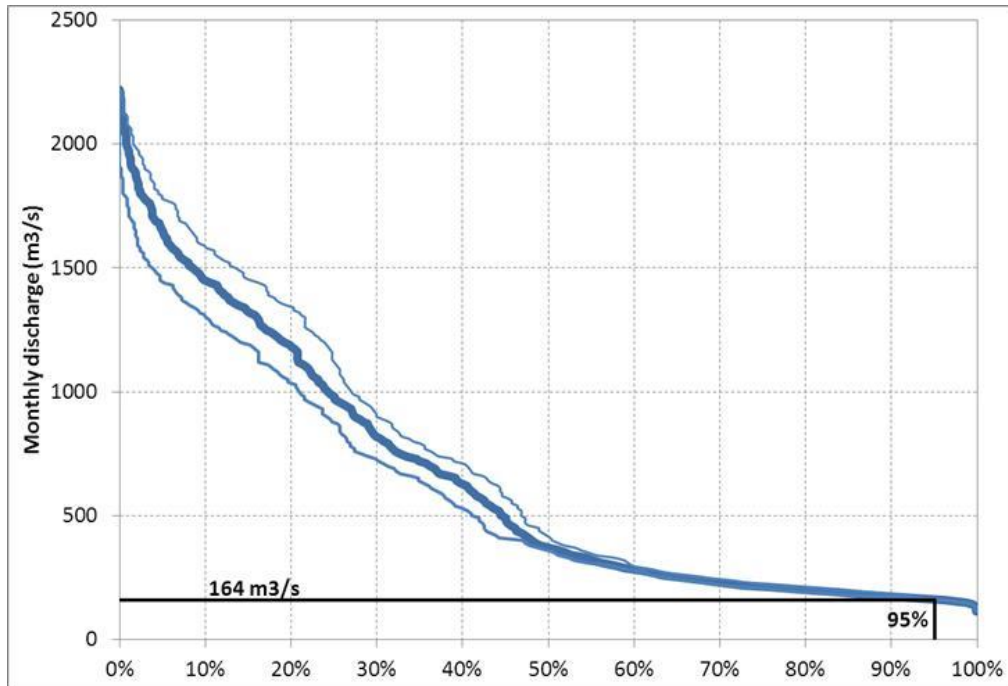
- Максимальная: это проектная мощность, имеющая такой же коэффициент использования установленной мощности электростанции как  $P=3600$  МВт при НПУ 1290 м.н.у.м. (проект ИГП).
- Минимальная: это минимальная проектная мощность, которая все еще позволяет 4 часа пиковой работы на 95% вероятности превышения природного стока Вахша. Здесь эта цель для покрытия наибольшего диапазона установленной мощности физически доступной на Рогуне, независимо от типа эксплуатации (пиковая, базовая...).
- Средняя: среднее значение между двумя другими.

Предварительный расчет эксплуатации Рогуна дает коэффициент использования установленной мощности в 45% для НПУ = 1290 м.н.у.м. и  $P_{уст.}=3600$  МВт (проект ИГП).

Таким образом, применяя такой же коэффициент использования установленной мощности для двух других высот плотины, максимальная установленная мощность составила 3200 МВт и 2800 МВт для НПУ 1255 и 1220 м.н.у.м. соответственно.



Следующий график показывает кривую продолжительности расхода стока реки Вахш на Рогуне:



**Рис. 4.1: Кривая продолжительности расхода Вахша на створе Рогуна (1932-2008 гг.)**

Расход 95% вероятности превышения составляет 164 м<sup>3</sup>/с. Предполагая, что электростанция не работает все время, а только 4 часа в день, объем экономного использования дает пиковый расход турбин в размере:

$$Q_{\text{Пик}} = \frac{Q_{95\%} \cdot 24 \text{ часа}}{4 \text{ часа}} = 984 \text{ м}^3/\text{с}$$

Затем рассчитывается необходимая мощность для трех вариантов НПУ:

$$P_{\text{Пик}} = 0.9 \cdot g \cdot \Delta H \cdot Q_{\text{Пик}}$$

Где  $\Delta H$  является максимальным напором

В конце, вычисленная проектная мощность округляется, и средняя рассчитывается для двух остальных. Это дает следующие проектные мощности для каждого варианта НПУ.

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

**Таблица 2: Выбранные проектные мощности**

## 5 ВЫВОДЫ

Проект Рогунской ГЭС изучается уже много лет и в различных вариантах типов и высоты.

Консультант рассматривал тот же створ плотины и ось, что и ИГП 2009 года.

Консультант, основываясь на своей оценке проекта ИГП 2009 года, подтверждает тип плотины: каменно-насыпная плотина с внутренним непроницаемым ядром. Было обнаружено, что это наиболее подходящее для створа Рогуна, в основном из-за важной сейсмической активности и активности разломов.

Консультантом было исследовано 3 НПУ: 1290 м.н.у.м., которое было выбрано ИГП 2009 г., 1220 м.н.у.м., которое было признано оптимальным предыдущими исследованиями и среднее – 1255 м.н.у.м.

Машинный зал, из-за того, что он уже частично пройден, так же сохраняется в текущей конфигурации. Безопасность последней части выработки машинного зала, пройденной в алевролите, оценивается в отчете первой фазы. Проведенное консультантом моделирование показывает, что при помощи внедрения соответствующего набора стабилизационных мер в зоне агрегатов № 5 и 6 (активные и пассивные анкеры и мультипакерные трубы с манжетами (MPSP), которые усилят разгруженную скальную породу между двумя выработками), машинный зал может быть доведен до требуемых условий безопасности и использован для того объема работ, для которых был построен. Машинный зал останется таким же для всех вариантов при исследовании; на самом деле, будучи спроектированным для установленной мощности в 3600 МВт, он подходит для размещения агрегатов всех нижеуказанных вариантов.

Консультантом были исследованы три проектные мощности на каждый вариант НПУ. Этот выбор рассматривает самую высокую исследованную установленную мощность, выбранную ИГП, наименьшую, основанную на расчете пикового производства электроэнергии и последняя, со средним значением между максимальным и минимальным.

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

Следовательно, оценка и выбор лучшего варианта основывается на 9 вариантах (3 высоты плотины и 3 проектные мощности для каждой высоты плотины).