

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЭО ПРОЕКТА СТРОИТЕЛЬСТВА РОГУНСКОЙ ГЭС

Фаза 2: Варианты определения проекта

Том 3: Проектирование и расчет

Глава 3: Варианты Проекта

Приложение 5 – Записка по управлению МВП

Август, 2014 г.

Отчет № P002378 RP55 Ред. Г

Г	17/08/2014	Финальный – август 2014 г.	Одил Клав	Луи Буза	Луи Буза
В	31/03/2014	Финальный	Одил Клав	Николя Санс	Николя Санс
Б	06/11/2013	Окончательный вариант с включенными комментариями от всех сторон	Одил Клав/Марк Дейрот	Асенсио Лара	Николя Санс
А	16/07/2013	Первое издание после публикации PR27	Одил Клав/Марк Дейрот	Асенсио Лара	Николя Санс
Редакция	Дата	Тема редакции	Подготовлено	Проверено	Одобрено

СОДЕРЖАНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	4
2	ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ	4
2.1	<i>Критерии проекта</i>	4
2.2	<i>Рассматриваемые паводки</i>	5
2.3	<i>Принципы безопасности по управлению паводками</i>	6
2.4	<i>Нурекские проектные характеристики</i>	7
3	АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО ИГП	8
3.1	<i>Описание решения ИГП</i>	8
3.2	<i>Анализ решения относительно основных ограничений</i>	9
3.3	<i>Дополнительные комментарии по решению ИГП</i>	10
3.4	<i>Вывод по анализу решения ИГП</i>	11
4	Защита Рогуна от Больших паводков	12
4.1	<i>Водосбросы доступные к концу строительства</i>	12
4.2	<i>Возможные виды водосбросов</i>	12
4.3	<i>Параметры, влияющие на эффективность управления паводками</i>	13
4.4	<i>Анализ вариантов защиты Рогуна</i>	16
4.5	<i>Вывод по защите Рогуна от МВП</i>	22
5	ЗАЩИТА Вахша от больших паводков	22
5.1	<i>Водосбросные сооружения доступные в Нуреке</i>	23
5.2	<i>Требования по защите каскада</i>	23
5.3	<i>Возможность ослабления паводка в Нуреке</i>	24
5.4	<i>Исследованные случаи ослабления паводка</i>	25
5.5	<i>Анализ результатов вычислений</i>	27
5.6	<i>Выводы по управлению большими паводками</i>	31
6	ВЫВОД И РЕКОМЕНДАЦИЯ	33
1.	Основные уравнения	39
2.	Описание таблицы	40
2.1	<i>Стандартный результат</i>	40
2.2	<i>Приток</i>	41
2.3	<i>Характеристики водохранилища</i>	41
2.4	<i>Правила эксплуатации водохранилища</i>	45
2.5	<i>Водосбросные сооружения</i>	45
2.6	<i>Результаты</i>	46

Рисунки

Рис. 2-1: Гидрограммы МВП и возвратного периода в 10,000 лет	5
Рис. 3-1 : Выборка из исследования ИГП - 3-ий эксплуатационный водосброс - продольное сечение	8
Рис. 3-2 : Выборка из исследования ИГП - Удаленный водосброс и эксплуатационный шахтный водосброс – продольное сечение.....	9
Рис. 3-3: Выборка из исследования ИГП - пропускная способность водосбросов по отметкам водохранилища	9
Рис. 5-1 Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м. управление МВП при помощи 3 тоннелей и 1 поверхностного водосброса в Рогуне через 40 лет седиментации. Ослабление паводка в Нуреке с начальным уровнем на отметке 860 м.н.у.м.	25
Рис. 5-2 Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м. управление МВП в Рогуне при помощи 3 тоннелей, 1 тоннель открыт на 60%, через 40 лет седиментации. Прием паводка в Нуреке с начальным уровнем на 860 м.н.у.м.....	30
Рис. 5-3 Вариант НПУ = 1290 м.н.у.м. управление МВП при помощи 2 тоннелей верхнего уровня открытых на 67%, 1 водосбросного сооружения среднего уровня открытого на 33% и функционирующего поверхностного водосброса в Рогуне через 40 лет седиментации. Турбины работают до 180 дня. Прием паводка в Нуреке с начальным уровнем на 860 м.н.у.м.	31

ТАБЛИЦЫ

Таблица 2.1 : Пиковый и максимальный ежедневный расход	5
--	---

1 ВВЕДЕНИЕ

Данное Приложение 5 к Главе 3 «Варианты Проекта» является оценкой возможных вариантов по управлению максимально возможным паводка (МВП) для различных вариантов высоты плотины.

Как указано в критериях проекта, основной целью является самозащита плотины от МВП (затопления каменно-набросной Рогунской плотины не произойдет даже в случае экстремальных паводков).

Таким образом, первым шагом этого пятого приложения будет оценка защиты плотины в проекте, разработанном ИГП, и если эта защита будет считаться неудовлетворительной, будут предложены альтернативные решения.

Затем, учитывая вместимость Рогунского водохранилища и его способность удержания паводка, в данном пятом приложении будут оценены возможности сброса потоков с Рогуна, приемлемых для Нурекской плотины.

Особое внимание в данном отчете уделяется требуемому расположению водосбросных сооружений на весь период эксплуатационного срока ГЭС и в долгосрочной перспективе, для того чтобы предоставить полную защиту плотины от МВП. Очевидно, что в не зависимости от выбранного решения и ввиду заилиения водохранилища, в долгосрочной перспективе является обязательным устройство поверхностного водосброса для безопасной проводки МВП без затопления Рогунской плотины.

В рамках настоящего приложения проводится определение подходящих решений, во-первых для защиты Рогуна от высокого паводка, а затем для защиты каскада, для трех вариантов высоты плотины, с нормальным подпорным уровнем в 1290 м.н.у.м., 1255 м.н.у.м. и 1220 м.н.у.м..

2 ОСНОВНЫЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

2.1 Критерии проекта

Как указано в Главе 1 Тома 3 «Критерии Проекта», необходимо выполнение следующих условий для возвратного периода паводка в 10,000 лет и максимально возможного паводка (МВП):

Эти паводки должны быть пропущены под отметкой верхушки ядра плотины. Верхняя отметка ядра плотины расположена на 3.75 м ниже отметки гребня плотины для всех трех вариантов нормального подпорного уровня.

Предполагая N отверстий водосбросов и n затворов для поверхностного водосброса (при $n=0$, поверхностный водосброс является водосбросом свободного перелива):

- для паводков с возвратным периодом в 10,000 лет, $N-1$ отверстий водосбросов или $n-1$ затворов поверхностного водосброса ($n-2$, если число затворов больше 6), максимальный уровень воды не должен быть выше верха ядра плотины.

Необходимо принять во внимание, что тоннель с наибольшим ожидаемым расходом должен рассматриваться не эксплуатируемым.

- Для МВП, с N отверстиями водосбросов и n затворами для поверхностного водосброса, максимальный уровень воды не должен быть выше Условного Уровня за минусом общего запаса гребня плотины.

2.2 Рассматриваемые паводки

Условными паводками, рассматриваемые для защиты Рогунской плотины в независимости от выбранного варианта, являются МВП и паводки с возвратным периодом в 10,000 лет, как указано в критериях проекта.

Анализ паводков реки Вахш на Рогунской ГЭС (том 2, глава 5 «Метеорология, Гидрология и Изменения Климата») дает следующие результаты относительно максимальных ежедневных и кратковременных пиковых расходов воды для двух проектных паводков.

Возвратный период	Пиковый м3/с	Ежедневный м3/с
10 000 лет	5970	5690
МВП	8260	7770

Таблица 2.1 : Пиковый и максимальный ежедневный расход

В настоящей записке мы округлим рассматриваемые расходы до сотен м3/с (5700 м3/с для паводка с возвратным периодом в 10,000 лет и 7800 м3/с для МВП).

Гидрограммы этих паводков предсказаны как показано на Рис. 2-1 ниже. Начало паводков ожидается в июне с пиком в середине июля.

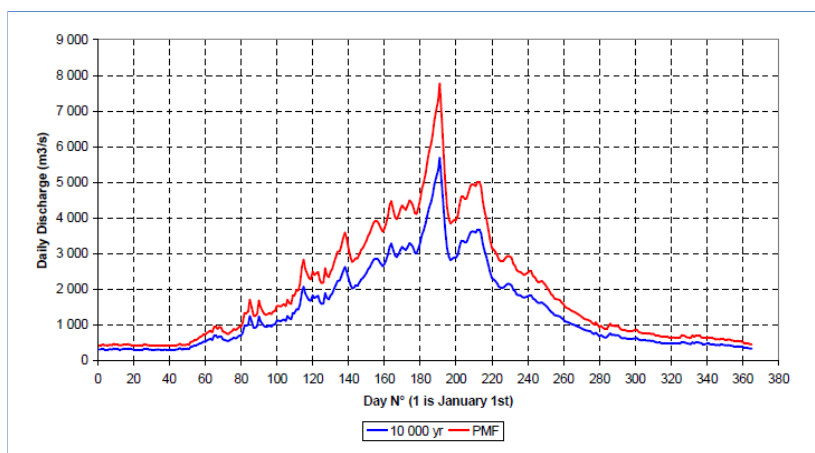


Рис. 2-1: Гидрограммы МВП и возвратного периода в 10,000 лет

2.3 Принципы безопасности по управлению паводками

В дополнение к проектным критериям указанным выше, были приняты во внимание следующие принципы безопасности:

- Эксплуатация турбин: МВП является исключительным чрезвычайным случаем, во время которого нормальная эксплуатация ГЭС может быть опасен или невозможен. Следовательно, турбины нельзя рассматривать как водосбросные сооружения в общей водопропускной способности Рогуна во время пикового периода МВП. Во время такой чрезвычайной ситуации только специализированные объекты будут рассматриваться для проводки МВП. Такой подход в целом используется и на других проектах спроектированных Консультантом.

Пиковый период для МВП, определенный для этого этапа исследований начинается на 180 день и имеет продолжительность 3 недели.

Для следующих этапов проекта, при доработке исследования системы пропуска паводков, следует учитывать, что до 180 дня поток уже достигает значений почти 4500 м³/с, соответствующего значению пикового потока 500-летнего паводка и при котором условия нормальной эксплуатации машинного зала неопределенны. Должны рассматриваться два основных риска: доступность подходов и доступность системы передачи электроэнергии. Естественно во время чрезвычайных паводков, может таять снег вокруг створа и могут возникнуть оползни, возможно блокирующие подходы или линии электропередач. Поэтому следует проанализировать, можно ли снизить эти риски (например используя систему раннего обнаружения паводка) или они должны быть компенсированы рассмотрением нижнего лимита для пропуска через турбины (например до значения потока, соответствующего 30-летнему паводку, т.е. 3500 м³/с).

- **Прогнозирование паводка:** так как Рогун находится под влиянием режима таяния снегов и льдов, можно прогнозировать высокий паводок при помощи мониторинга количества снега аккумулированного предыдущей зимой. Анализ приведенный здесь предполагает, что можно прогнозировать паводок и принять соответствующие меры (например, пониженный уровень водохранилища) перед возникновением высокого паводка.
- **Типы водосбросных сооружений:** практика и рекомендация Консультанта – это не надеяться только на тоннельные водосбросы: они подлежат эксплуатационным и ремонтно-восстановительным работам и не приспособлены даже для малейших изменений от спроектированного сброса воды. Для увеличивающегося напора, дополнительная пропускная способность для тоннельного водосброса намного ниже поверхностного водосброса. Это составляет важное ограничение для системы проводки паводков. Это предусматривает немного неопределенности в выбранном проекте сброса воды и небольшую возможность адаптации системы к будущим тенденциям в проектировании паводков (изменения климата...)

- **Водосбросные сооружения:** Все водосбросные сооружения должны быть независимыми. Какое-нибудь происшествие на одном из них не должно влиять на другие объекты.
- **Тоннели и пересечение разломов:** Тоннели, пересекающие разломы, могут быть повреждены из-за движения разломов во время крупных землетрясений или оползней. Это может привести к недоступности упомянутых тоннелей. Следовательно, рекомендуется максимально избегать пересечения с разломами или, когда невозможно избежать такого пересечения, использовать специальные проекты для принятия перемещений и сохранения целостности сооружения.

2.4 Нурекские проектные характеристики

В оригинальном проекте ИГП, турбины Нурекской ГЭС рассматриваются частью общей пропускной способности паводков проекта. Рассматриваемая проектировщиками пропускная способность Нурека равна 4 040 м³/с (водосбросы) + 1 420 м³/с (турбины). Как указано выше, Консультант не рассматривает ГЭС как водосбросное сооружение во время пикового периода МВП. Пропускная способность, рассматриваемая проектировщиками в Нуреке равна 4 040 м³/с во время пикового периода МВП и 5400 м³/с до и после пикового периода. Пропускная способность обеспечивается двумя сооружениями: одним нижним водосбросом на отметке 857 м и одним поверхностным водосбросом на отметке 897 м. Каждый водосброс имеет пропускную способность в 2020 м³/с при отметке водохранилища в 910 м.

3 АНАЛИЗ РЕШЕНИЯ ПРЕДЛОЖЕННОГО ИГП

3.1 Описание решения ИГП

В решении, предлагаемом ИГП в исследовании 2009/2010 года, расположение водосбросов для плотины на отметке 1300 м (НПУ 1290м) следующее:

- 3-ий эксплуатационный водосброс: это водосбросный тоннель с водоприемником на отметке в 1145 м, длиной около 400 и 600 м, он разделяется на две ветки. Каждая ветка имеет вертикальную спиральную шахту с шахтным устройством, которое гасит большую часть энергии. Финальный участок тоннеля горизонтальный и заканчивается носком отброса струи в нескольких метрах над рекой. (см. Рис. 3-1)
- Удаленный водосброс: это водосбросный тоннель с водоприемником на отметке в 1145 м, длиной около 400 и 600 м. Финальный участок тоннеля горизонтальный и заканчивается носком отброса струи в нескольких метрах над рекой. (см. Рис. 3-2)
- Эксплуатационный шахтный водосброс: это сбросный водослив, с круглым входом, оборудованным 3 сегментными затворами 14 м шириной, и отметкой порога на 1283.5 м, данный вход соединен с шахтой диаметром 12 м, которая соединена к той же шахте, что и удаленный водосброс. Недалеко над соединением с удаленным водосбросом, нормальный участок шахты сокращается до дросселированного участка диаметром 9.2 м, который служит контрольной точкой для более крупных водосбросных сооружений («бутылочное горлышко»), то есть гашение энергии происходит в шахте над горлышком (см. Рис. 3-2)



Рис. 3-1 : Выборка из исследования ИГП - 3-ий эксплуатационный водосброс - продольное сечение

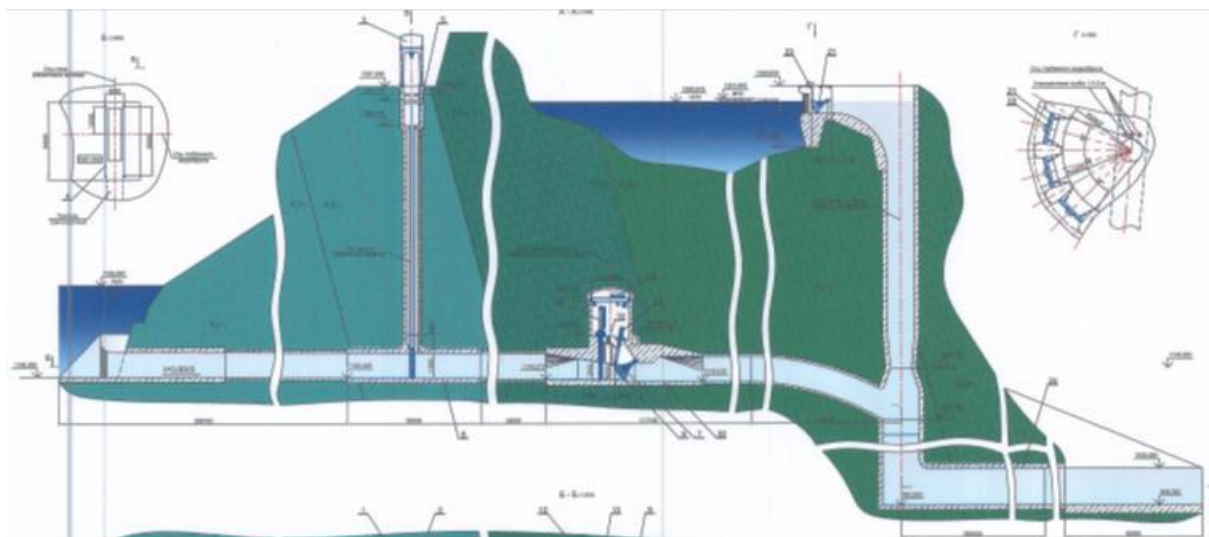


Рис. 3-2 : Выборка из исследования ИГП - Удаленный водосброс и эксплуатационный шахтный водосброс – продольное сечение

Общая водопропускная способность составляет 7 100 м³/с, значение МВП по оценке в исследовании ИГП.

Следующая схема представляет пропускную способность трех эксплуатационных водосбросов, спроектированных ИГП.

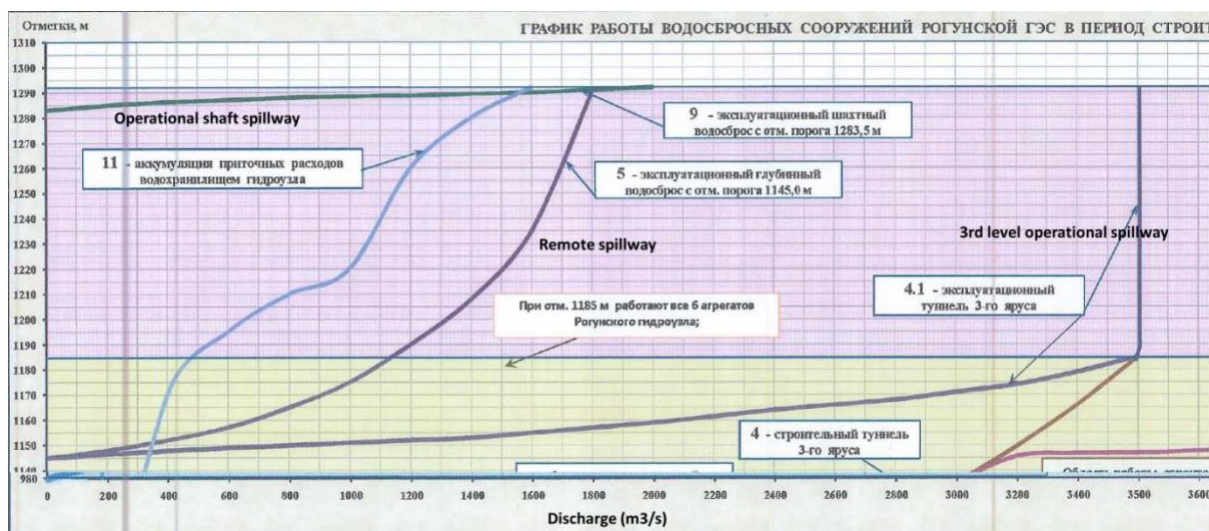


Рис. 3-3: Выборка из исследования ИГП - пропускная способность водосбросов по отметкам водохранилища

3.2 Анализ решения относительно основных ограничений

Решение, представленное ИГП, предлагает защиту от МВП и должно покрывать новое значение МВП в 7 800 м³/с. Тем не менее, когда во время паводкового сезона

используются водосбросные сооружения, напор в тоннелях равен 145 м. Это значение выше максимального напора, рассматриваемого приемлемым Консультантом ТЭО, как представлено в приложении 3 «Управление паводками во время строительства» главы 3 «Варианты проекта», то есть 120 м.

Критерий N-1 для паводков с возвратным периодом в 10,000 лет может быть удовлетворен на трех водосбросах. Однако, с нынешним проектом, предложенным ИГП, без 3-го эксплуатационного водосброса, паводки с возвратным периодом в 10,000 лет не будут проведены: эксплуатационный шахтный водосброс может пропустить до 2000 м³/с и удаленный водосброс до 1800 м³/с.

В анализе проекта ИГП, выполненного Консультантом, рассматриваются только специализированные водосбросные сооружения (турбины не включены) для проводки МВП, что соответствует основным ограничениям упомянутым выше.

3.3 Дополнительные комментарии по решению ИГП

Следует отметить, что:

- Два из трех водосбросов делят одинаковый отводящий тоннель. Сбой на верховом участке повлияет на два из трех тоннелей, то есть на 50% общей пропускной способности.
- В долгосрочном периоде, как указано в главе 6 «Заиление», водохранилище будет заилено. Таким образом, в долгосрочном периоде тоннельные водосбросы больше не смогут эксплуатироваться, так как напорные тоннели не могут эксплуатироваться с высоким содержанием наносов, а так же потому, что их водоприемники будут заглушены в долгосрочном периоде.
- Хотя решение с тоннельными водосбросами и шахтным устройством гасящим энергию является хорошим вариантом для гашения энергии, и было использовано на нескольких плотинах по всему миру, для такого крупного проектного паводка отсутствует эталон. Единственные сравнимые сооружения были использованы в Техри (Индия) с пропускной способностью в 1900 м³/с и 1950 м³/с, как описано в томе 3, главе 3, приложении 4 «Гидравлические компоненты проекта». С момента ввода в эксплуатацию они были задействованы только однажды, для сброса 480 м³/с, так как не являются основными водосбросными сооружениями. В Техри также имеется классический поверхностный водосброс с лотком быстротока, носком отброса струи и водобойным колодцем, которые обеспечивают 40% общей пропускной способности. Полагаться только на шахтные устройства для постоянных водосбросных сооружений с такой большой пропускной способностью не является безопасным, по мнению Консультанта ТЭО.

3.4 Вывод по анализу решения ИГП

В настоящем анализе показано, что имеющееся проектное решение обладает несколькими недостатками:

- Максимальный напор воды превосходит значение рекомендованное Консультантом.
- Необходимость в повторном проектировании распределения потока между водосбросами для выполнения критерия N-1.
- Два сооружения делят одинаковый выходной портал.
- Недостаток опыта для шахтных устройств с такой большой пропускной способностью для постоянных водосбросных сооружений.

- В проекте ИГП не представлены долгосрочные сооружения для пропуска паводка.

Консультант считает, что требования безопасности не были достигнуты. Таким образом, дальше в настоящем приложении рассматриваются другие варианты для того, чтобы выбрать подходящее решение для каждой высоты плотины.

4 ЗАЩИТА РОГУНА ОТ БОЛЬШИХ ПАВОДКОВ

4.1 Водосбросы доступные к концу строительства

Как обсуждалось в томе 3, главе 3, приложении 3 «Управление паводками во время строительства», следующие тоннельные водосбросы остаются в конце строительства как водосбросные сооружения верхнего уровня для каждого варианта высоты плотины:

Вариант плотины	Количество имеющихся тоннелей	Количество затворов на тоннель	Отметка водоприемника тоннелей
НПУ = 1220 м	1	3	1140 м
НПУ = 1255 м	3	3	1 на 1145 м и 2 на 1165 м
НПУ = 1290 м	2	3	1190 м

Таблица 4-1 Водосбросные сооружения высокого уровня, доступные в конце строительства

Данные тоннели могут эксплуатироваться до заиления водохранилища, так как эксплуатационный напор не превышает критерий установленный Консультантом (120 м).

Следует отметить, что для варианта НПУ = 1290 м.н.у.м., водосбросное сооружение среднего уровня №2 не должно быть подвержено наносам примерно от 50 до 60 лет. Таким образом, оно может быть использовано как дополнительное водосбросное сооружение в случае МВП.

4.2 Возможные виды водосбросов

Как описано в томе 3, главе 3, приложения 4 «Гидравлические компоненты проекта», были найдены технически осуществимые решения, как для поверхностного водосброса, так и для водосбросов напорных тоннелей.

Тоннельные водосбросы имеют одинаковые особенности, как и тоннели доступные в конце строительства, как описано в 4.1.

Следует отметить, что поверхностный водосброс является необходимым сооружением в долгосрочном плане, когда водохранилище будет заилено, для предоставления долгосрочной самодостаточной стабильности проекта. Поверхностный водосброс, как представлено в томе 3, главе 3, приложении 4 «Гидравлические компоненты проекта», состоит из трех независимых водотоков. Данный модульный дизайн позволяет построить только часть водосброса во время строительства плотины и завершить его, когда потребуется. Один модуль поверхностного водосброса имеет следующие характеристики:

Вариант плотины	Количество затворов на водоток	Ширина затворов	Отметка порога
НПУ = 1220 м	4	8м	1214 м
НПУ = 1255 м	4	8м	1249 м
НПУ = 1290 м	4	8м	1284 м

Таблица 4-2 Основные характеристики поверхностных водосбросных сооружений из таблицы 2-1

4.3 Параметры, влияющие на эффективность управления паводками

Способность удержания паводка: способность удержания паводка со временем будет уменьшена из-за заиления водохранилища. Объем, доступный для удержания паводков, показан в следующих графиках. Каждая кривая представляет объем водохранилища относительно уровня воды. Объем рассчитывается в начале строительства, а затем каждые 20 лет. Данный объем влияет на сброс воды, которая должна быть проведена из водохранилища. Таким образом, со временем уменьшающийся объем для удержания паводков означает увеличение потока воды для сброса.

Анализ будет проводиться на период через 40 лет после первой очереди, который находится в соответствии с периодом, рассматриваемым в экономическом анализе. Тм не менее, следует отметить, что для варианта НПУ = 1220 м.н.у.м., через 40 лет после перекрытия реки, водоприемники тоннельных водосбросов будут находиться ниже уровня наносов. Поэтому для варианта НПУ = 1220 м.н.у.м., результаты даны через 30 лет после перекрытия реки, что соответствует окончанию эксплуатации тоннельных водосбросов.

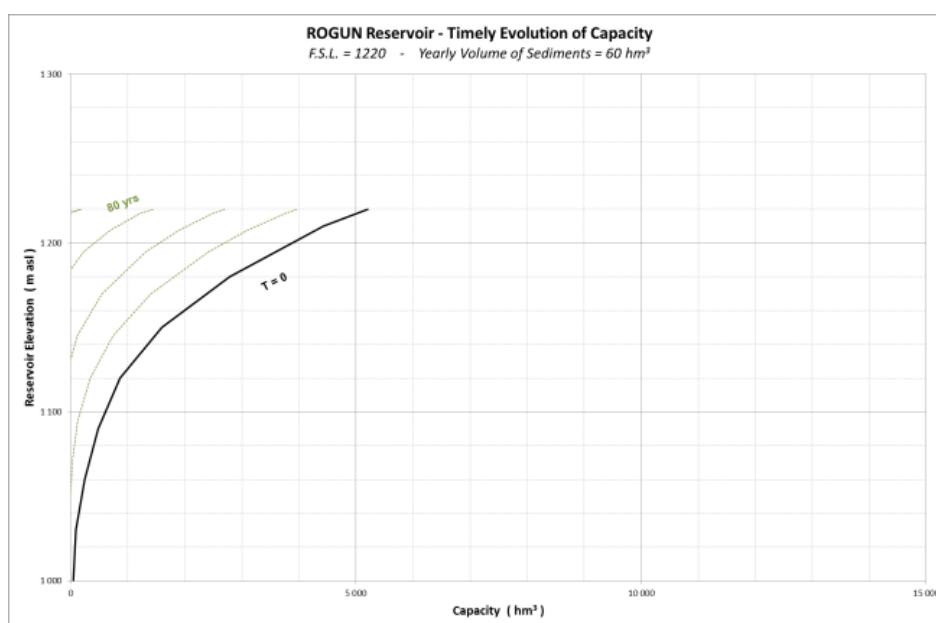


Рис. 4-1 Горизонтальные / вертикальные кривые для варианта НПУ 1220 м и годовым заилением в 100 млн м3

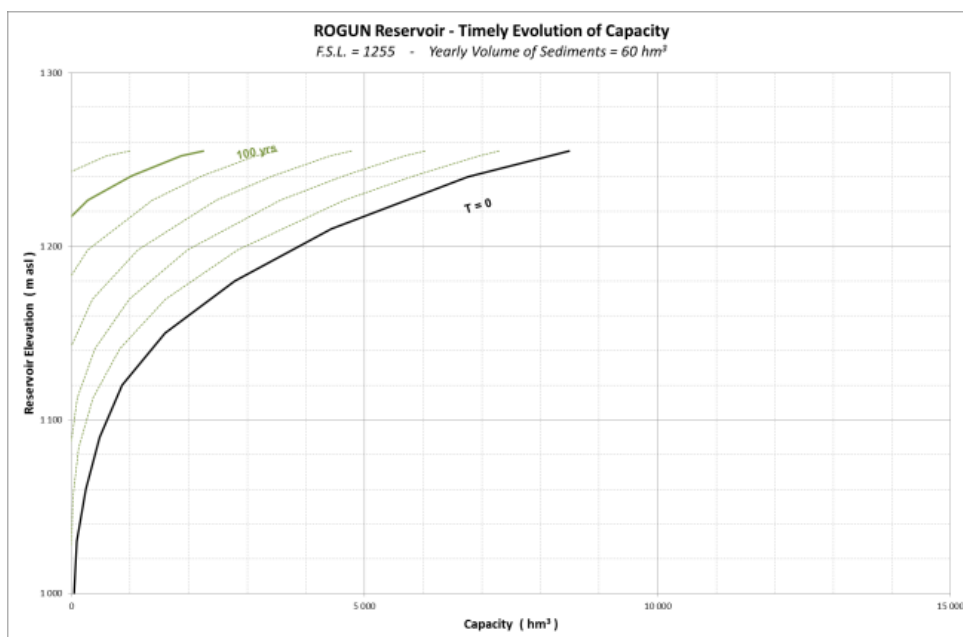


Рис. 4-2 Горизонтальные / вертикальные кривые для варианта НПУ 1255 м и годовым заилением в 100 млн м³

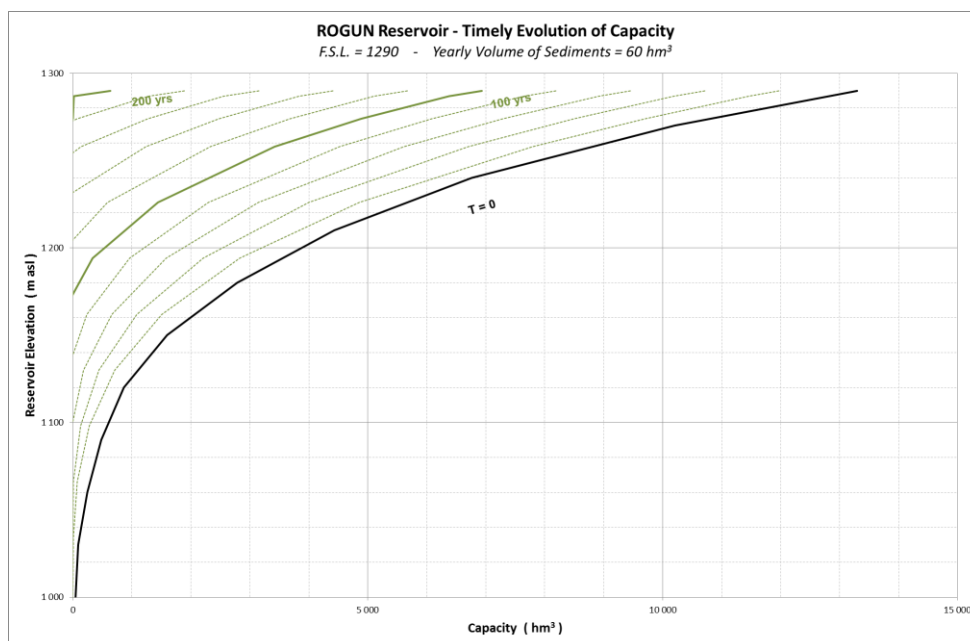


Рис. 4-3 Горизонтальные / вертикальные кривые для варианта НПУ 1290 м и годовым заилением в 100 млн м³

Отметка водохранилища в начале паводка: следующий график показывает статистические данные по датам прохождения пика паводков на реке Вахш и ее притоках. Он показывает, что пик ежегодного паводка может произойти в июле, как принято на гидрограмме паводков показанной в 2.2, но также возможны задержки в возникновении этого пика. Результат задержки объясняется тем, что паводок замечается позже и соответственно отметка водохранилища в начале паводка выше

ожидаемой. Это равнозначно уменьшению объема водохранилища доступного для удержания паводков и также приведет к увеличению потока для сброса во время МВП. Тем не менее, следует отметить, что в случае значительного объема снега, накопленного зимой, рекомендуется отойти от кривой нормальной эксплуатации водохранилища, чтобы держать достаточный объем для удержания экстремально высокого паводка, снижая влияние задержки в возникновении пика.

Прогноз высокого паводка может быть основан на механизме, используемым ICWC для оценки совместного использования воды между странами бассейна.

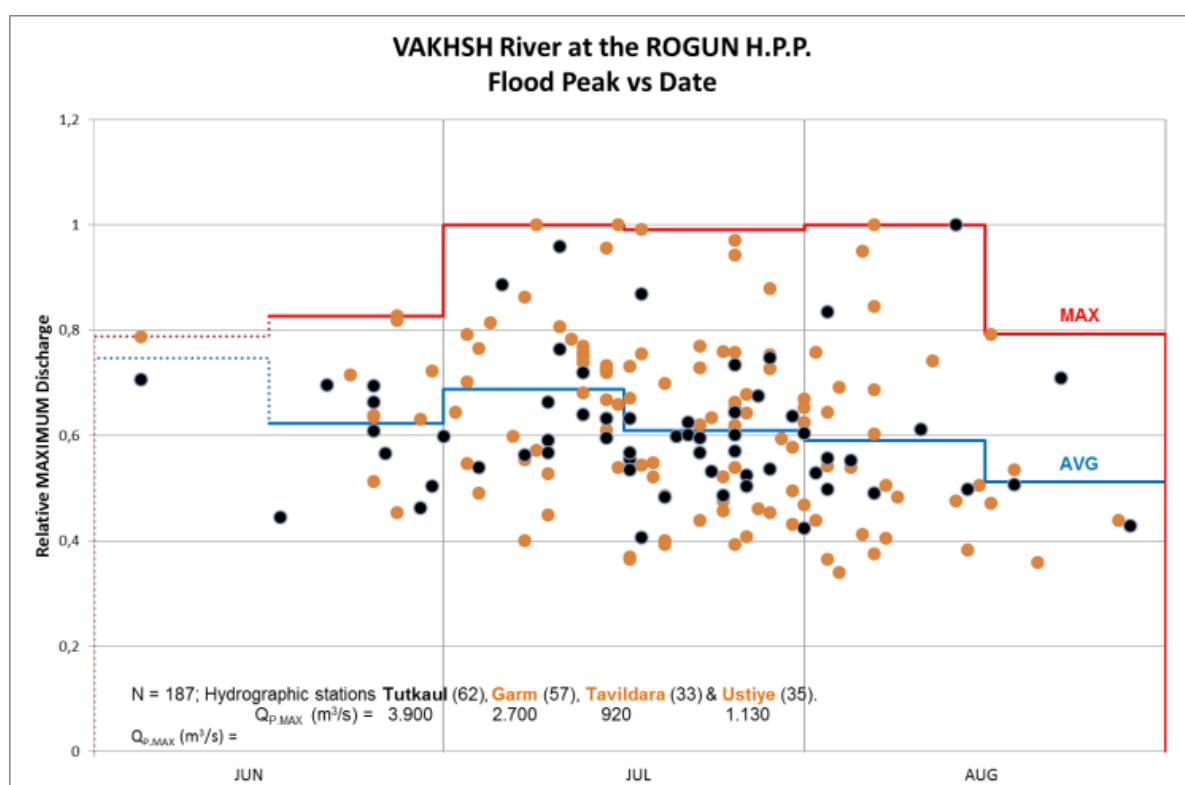


Рис. 4-4 Историческое распределение пиков паводков на реке Вахш

Количество доступных затворов тоннелей: Как упомянуто в 2.3, тоннели могут иметь эксплуатационные и ремонтные трудности. Поэтому важно оценить влияние недоступности затворов на пропускную способность во время паводков. Эта потенциальная потеря пропускной способности может быть компенсирована поднятием гребня плотины или поверхностным водосбросом. В случае дополнительного поверхностного водосброса, следует оценить количество поверхностных водосливных затворов, которые следует открыть. Это анализ чувствительности.

4.4 Анализ вариантов защиты Рогуна

Для каждого варианта, были исследованы несколько комбинаций водосбросных сооружений (количество и виды) относительно критериев проекта и принципов безопасности, а также их чувствительность к параметрам, описанным в 4.3, то есть, количество недоступных тоннельных затворов (сбалансированных открытием поверхностных водосливных затворов или подъемом гребня), снижение объема доступного для удержания паводка с течением времени и отметки в водохранилище на начало паводка.

Для каждой комбинации предполагается, как указывается в 2.4, что турбины будут эксплуатироваться до начала пика МВП, то есть до 180 дня.

Приложение 1 дает результаты всех вычислений по удержанию паводков, выполненных для разных вариантов, комбинаций водосбросов, состояния заиления, отметок водохранилища в начале паводка и т.п.

Следующие выводы можно сделать из этих вычислений для каждого варианта:

Вариант НПУ = 1220 м:

Один тоннельный водосброс, построенный во время строительства. Были исследованы комбинации, включающие от 1 до 3 тоннелей и от 0 до 2 модулей поверхностного водосброса.

Расчеты, представленные в приложении 1 показывают, что:

- Так как уровень воды в апреле ниже, чем водоприемник тоннельных водосбросов, нет никакой разницы между сценарием с уровнем воды в апреле на 1125 м.н.у.м. и сценарием с уровнем воды в апреле на 1135 м.н.у.м.

- В решении только с 3 тоннельными водосбросами и уровнем гребня плотины в 1230 м максимальный уровень воды выше уровня ядра гребня (см. следующую таблицу).в Рогуне, который составляет 1226,25 м.н.у.м.

	Период после первой очереди		
	0 лет	20 лет	30 лет
1225		1230,0	1231,6

Таблица 4-3 Максимальный уровень воды в водохранилище во время МВП, 3 тоннельных водосбросов

Это решение не удовлетворяет требованиям критериев проектирования и не предоставляет удовлетворительной защиты для плотины. И необходимо напомнить, что как указано в 2.3, Консультант не рекомендует решения, полагающиеся только на тоннели.

Решениями, которые предоставляют приемлемую защиту для Рогунской плотины от МВП и паводка с 10000-летним возвратным периодом являются следующие:

Решение с 3 тоннелями и 1 модулем поверхностного водосброса

Или решение с 2 тоннелями, 1 модулем поверхностного водосброса и подъемом гребня плотины на 4 м

Или решение с 1 тоннелем, 2 модулями поверхностного водосброса и подъемом гребня плотины на 1.5 м

Или решение с 1 тоннелем и 3 модулями поверхностного водосброса

Максимальный уровень воды в водохранилище во время МВП показан в следующей таблице:

Решения для реализации	Время после 1 очереди		
	0 лет	20 лет	30 лет
3 тоннеля и 1 модуль поверхностного водосброса	1219.4	1223.1	1223.9
2 тоннеля и 1 модуль поверхностного водосброса + подъем гребня плотины на 4 м (ядро гребня равно 1230.25 м.н.у.м.)	1228.1	1229.1	1229.2
1 тоннель и 2 модуля поверхностного водосброса + подъем гребня плотины на 1.5 м (ядро гребня равно 1227.75 м.н.у.м.)	1226.3	1226.4	1226.4
1 тоннель и 3 модуля поверхностного водосброса (ядро гребня равно 1226.25 м.н.у.м.)	1223.73	1223.80	1223.80

Относительно защиты от паводка с 10000-летним возвратным периодом, расчеты дал следующие результаты:

Δt (years) =	0				20				30			
	1230	1234	1231.5	1230	1230	1234	1231.5	1230	1230	1234	1231.5	1230
Dam crest												
Initial tunnels	3	2	1	1	3	2	1	1	3	2	1	1
Tunnels available	2	1	0	0	2	1	0	0	2	1	0	0
Initial Surface gates	4	4	8	12	4	4	8	12	4	4	8	12
surface gates available	3	3	6	8	3	3	6	8	3	3	6	8
Hmax	1219.6	1228.2	1227.8	1225.66	1220.2	1230.2	1227.9	1225.74	1221.8	1230.4	1227.9	1225.74
Qmax	3492	4339	5346	5407	3596	5022	5423	5467	3962	5102	5427	5471

Таблица 4-5 Максимальный уровень воды и поток в Рогуне во время паводка с 10000-летним возвратным периодом, эксплуатация турбин до 180 дня

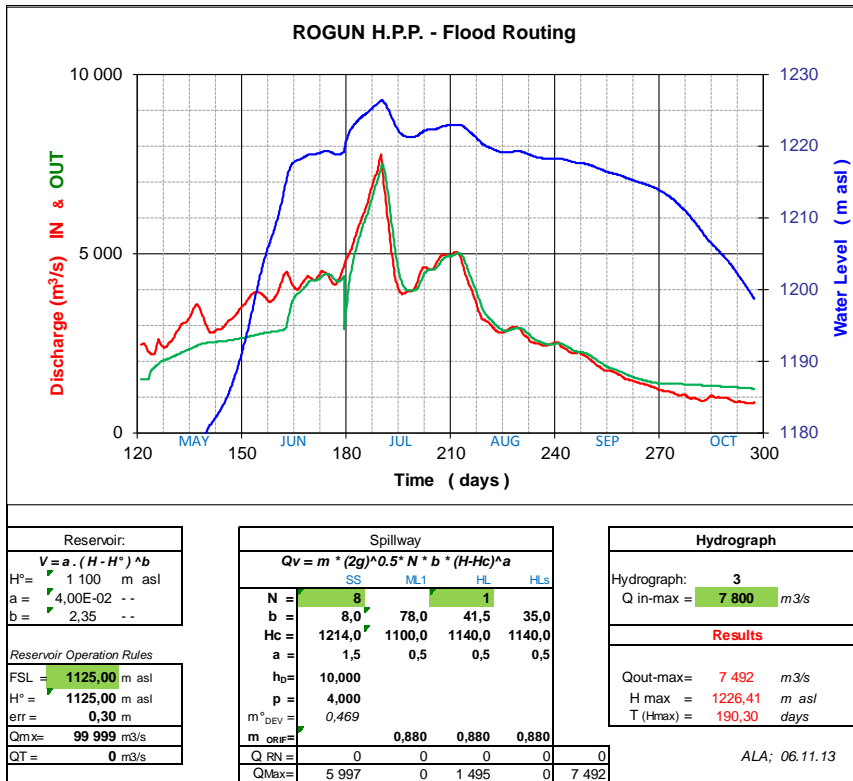


Рис. 4-5 Вариант НПУ = 1220 м.н.у.м. – ослабление МВП при помощи двух модулей поверхностного водосброса и одного тоннеля через 20 лет наносов и с эксплуатацией турбин до 180 дня

Сравнивая затраты на разные возможные решения, вариант с двумя модулями поверхностного водосброса, одного тоннеля и подъема гребня плотины на 1.5 м выглядит наименее дорогим (см. следующую таблицу).

Подъем гребня на 1.5 м также должен включать подъем отметки гребня ядра плотины на 1.5 м.

Схема водосбросных сооружений	3 тоннеля + 1 модуль поверхностного водосброса	2 тоннеля + 1 модуль поверхностного водосброса + подъем гребня плотины (4 м)	1 тоннель + 2 модуля поверхностного водосброса + подъем гребня плотины (1.5 м)	1 тоннель + 3 модуля поверхностного водосброса
Стоимость тоннелей	303 млн. долл США	202 млн. долл США	101 млн. долл США	101 млн. долл США
Стоимость поверхностного водосброса	136 млн. долл США	136 млн. долл США	190 млн. долл США	275 млн. долл США
Итого	439 млн. долл США	338 млн. долл США	291 млн. долл США	376 млн. долл США

Таблица 4-6 Стоимость водосбросных сооружений согласно тому 4, разделу 2 «Оценки затрат»

Вариант НПУ = 1255 м:

В данном варианте вычисления показывают, что с 3 тоннелями доступными в конце строительства и всеми открытыми затворами, Рогунское водохранилище может справиться с МВП. Однако такое решение, полагающееся только на тоннельные водосбросы, не рекомендуется.

Решение, объединяющее 3 тоннеля, доступные в конце строительства, и 1 модуль поверхностного водосброса предлагает удовлетворительную защиту плотины от МВП до заиления водохранилища.

В этом решении, защита также обеспечивается защита от паводка с 10000-летним возвратным периодом: с потерей 1 тоннеля и одним недоступным поверхностным затвором, максимальный уровень воды в водохранилище равен 1252,6 м.н.у.м.

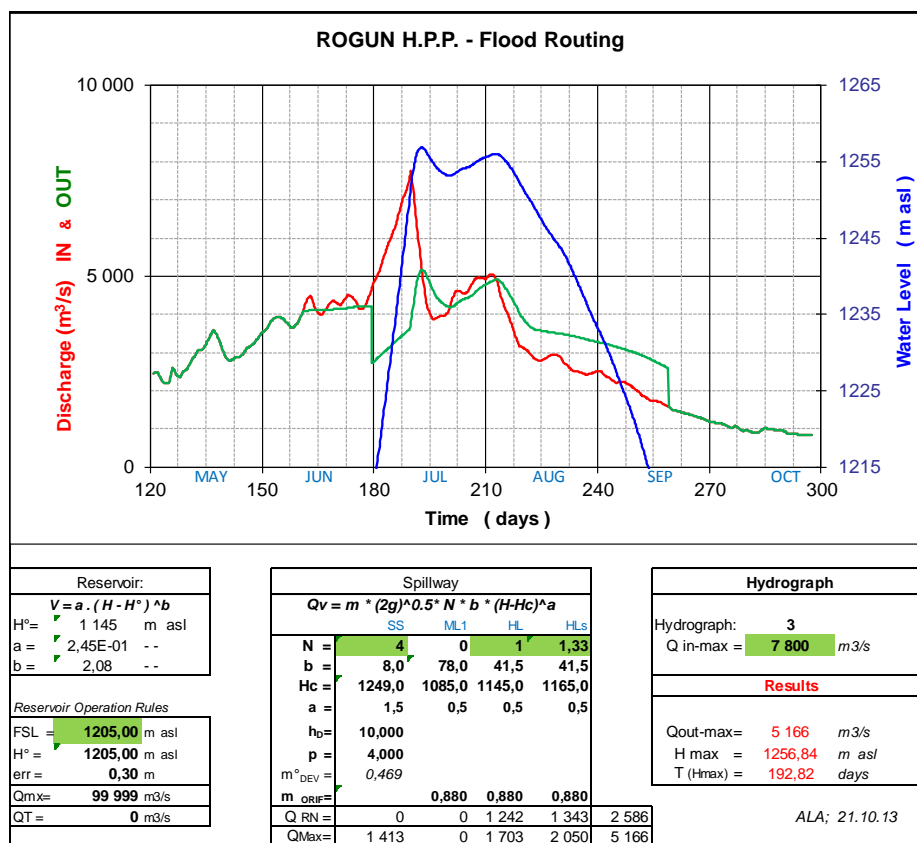


Рис. 4-6 Вариант НПУ = 1255 м – ослабление МВП с 1 поверхностным водосбросом и 3 тоннелями, 2 затвора тоннелей закрыты через 40 лет и турбины, работающие до 180 дня

Вариант НПУ = 1290 м:

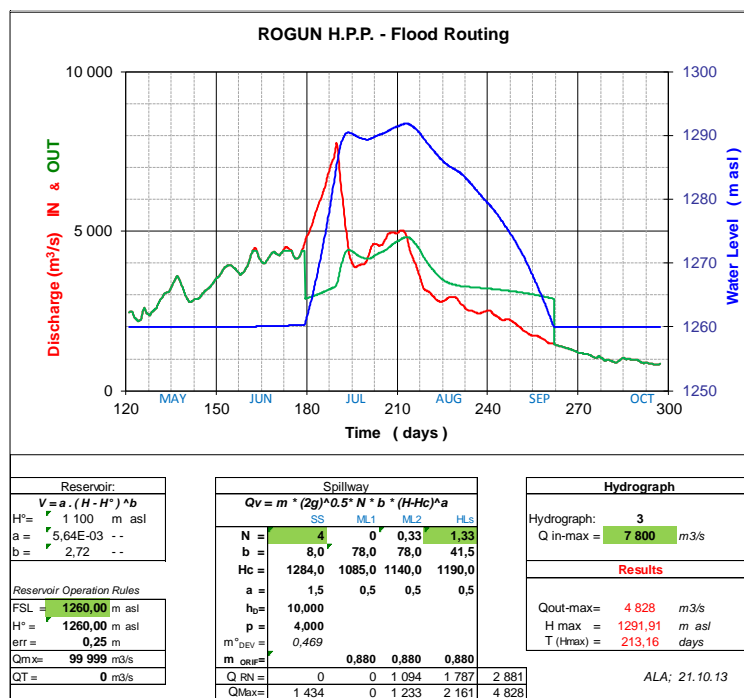
В данном варианте, 2 тоннеля доступные в конце строительства могут быть дополнены 1 дополнительным тоннелем или 1 модулем поверхностного водосброса или обоими.

Следует отметить, что, так как высокие паводки являются исключительными событиями, водосбросное сооружение среднего уровня №2 может быть использовано как устройство для управления высоким паводком во время эксплуатации: максимальный напор в тоннеле равен 150 м при НПУ и 120 м при минимальном уровне в водохранилище. Дополнительно, пропускная способность этого тоннеля выше, чем один из двух тоннелей верхнего уровня, поэтому использование этого тоннеля предоставляет большую гибкость для управления высоких паводков.

Вычисления показывают, что, с двумя тоннелями верхнего уровня со всеми открытыми затворами и водосбросным сооружением среднего уровня с одним открытым затвором, Рогунское водохранилище может справиться с МВП. Однако такое решение, опирающееся только на тоннельные водосбросы, не рекомендуется.

Решение, комбинирующее эти три тоннеля, и модуль поверхностного водосброса обеспечивает удовлетворительную защиту Рогунской плотины до заилиения водохранилища.

С этим решением, так же обеспечивается защита от паводка с 10000-летним возвратным периодом. Максимальный уровень воды в водохранилище составляет 1289.1 м.н.у.м.



Вариант НПУ = 1290 м – ослабление МВП с 1 поверхностным водосбросом, 2 тоннелями с закрытыми затворами тоннелей и 1 открытым затвором тоннеля водосбросного сооружения среднего уровня через 40 лет и турбинами эксплуатируемыми до 180 дня

4.5 Вывод по защите Рогуна от МВП

Для варианта НПУ=1220 м.н.у.м., 4 решения технически подходят для защиты Рогуна от МВП. Среди них решение с 1 тоннелем, 2 модулями поверхностного водосброса и подъемом гребня плотины на 1.5 м является наименее затратным решением.

Для варианта НПУ=1255 м.н.у.м., защита от МВП будет удовлетворительна с 3 тоннелями необходимыми для строительства и 1 модулем поверхностного водосброса.

Для варианта НПУ=1290 м.н.у.м., защита от МВП является удовлетворительной с 2 тоннелями верхнего уровня и водосбросным сооружением среднего уровня, необходимого для строительства и 1 модулем поверхностного водосброса.

5 ЗАЩИТА ВАХША ОТ БОЛЬШИХ ПАВОДКОВ

Как указано в введении: Рогун должен быть защищён от высоких паводков на протяжении всего периода своей эксплуатации и это является базовым проектом, исследованным в предыдущих параграфах. Тем не менее, возможность защиты Нурека от высоких паводков в особых условиях может быть дополнительной услугой предоставляемой Рогуну. Данная возможность изучается в следующем разделе для трех вариантов плотины.

5.1 Водосбросные сооружения доступные в Нуреке

2 водосброса доступны в Нуреке:

- = 1 тоннельный водосброс с водоприемником на 810 м и пропускной способностью в 2020 м³/с при уровне воды в водохранилище в 910 м.
- = 1 поверхностный водосброс с 2 затворами, порогом на 897,3 м и шириной 12 м каждая. За данным поверхностным водосбросом следует тоннель 10 м шириной и 11 м высотой. Пропускная способность водосброса равняется 2020 м³/с при уровне воды в водохранилище в 910 м.

Что касается Рогуна, Консультант рекомендует не включать пропускную способность турбин в общую пропускную способность водосбросов во время пикового периода паводка. Таким образом, максимальная пропускная способность без турбин равняется 4040 м³/с. Пропускная способность через турбины равна 158 м³/с * 9 турбин. Поэтому в Нуреке пропускная способность с турбинами при НПУ равна 5462 м³/с.

5.2 Требования по защите каскада

Нурек и низовой каскад спроектированы для пропуска меньшего паводка, чем МВП. Реализация Рогунского проекта может быть возможностью для защиты каскада от МВП путем ограничения сброса ниже по течению от Рогуна до приемлемого уровня для низовых сооружений.

Как сказано выше, проектная пропускная способность Нурека равна 4040 м³/с и 5462 м³/с включая турбины.

Консультант отметил во время своего исследования, что скорость воды в поверхностном водосбросе Нурека высокая: 55 м/с. Соответствующий коэффициент кавитации равен 0,08 в конце первого участка тоннеля (изменение склона). Кривые, представляющие скорости, глубину воды и коэффициент кавитации показаны в приложении 3 для 3 разных потоков: 2000 м³/с, 2400 м³/с и 2800 м³/с.

Коэффициент кавитации ниже 0,1 рассматривается как неприемлемый в международных стандартах. Консультант понимает, что были реализованы специальные меры для поднятия этого коэффициента кавитации до приемлемых значений. Однако они неизвестны Консультанту, поэтому неизвестна достаточность этих мер для увеличения потока.

Таким образом, ограничение рассматриваемое в текущем разделе таково, что расход через поверхностный водосброс в Нуреке не должен превышать проектного значения в 2020 м³/с. Соответственно, уровень водохранилища Нурека не должен быть выше 910 м.н.у.м.

Консультант предполагает, что гидроэлектростанции, расположенные ниже по течению от Нурека спроектированы для пропуска как минимум такого же расхода, что и на

Нуреке. Поэтому ограничение расхода Нурека обеспечивает защиту всего Вахшского каскада.

5.3 Возможность ослабления паводка в Нуреке

В нормальном режиме эксплуатации, уровень воды в Нуреке будет около НПУ, то есть около 910 м.

Так как большая часть заиления будет оседать в Рогуне, в течение периода наблюдения в 40 лет, объем доступный для ослабления паводков не будет меняться во время этого периода.

Учитывая объем Нурекского водохранилища, низкий уровень воды в начале паводков может иметь значительное влияние на эффективность ослабления паводков Нуреком. Таким образом, может представлять интерес сработка уровня воды в Нуреке при обнаружении паводков, для того чтобы воспользоваться преимуществом большого объема для истощения потока, входящего в водохранилище.

Следующий график иллюстрирует сценарий сработки уровня воды в Нуреке для варианта НПУ = 1255 м.н.у.м. в Рогуне и с 3 тоннелями и 1 поверхностным водосбросом в эксплуатации. Предполагается, что уровень воды в Нуреке был успешно сработан в начале июня. В это время течение входного портала в Нуреке 4000 м³/с, так как на Рогуне турбины все еще эксплуатируются. Единственными доступными сооружениями сброса паводка являются тоннельный водосброс и турбины. Из-за ограниченного напора в тоннельном водосбросе, пропускная способность, включая турбины, в июне равна около 3000 м³/с. В то же время, входящий поток в Нуреке более 4000 м³/с. Разница представляет объем в 2.6 млрд м³ в месяц, то есть большая часть емкости Нурекского водохранилища. Это означает, что когда начинается пик паводка и турбины недоступны, Нурек почти полностью полный (уровень воды на отметке 900 м.н.у.м.).

Через 3 недели можно запускать турбины. Ниже, на графике, все турбины запущены заново, увеличивая сбрасываемый поток с Нурека до 5750 м³/с. Количество турбины, которые следует перезапустить на Нуреке может быть подкорректировано, чтобы оставаться в пределах проектного потока Нурека, то есть 5400 м³/с.

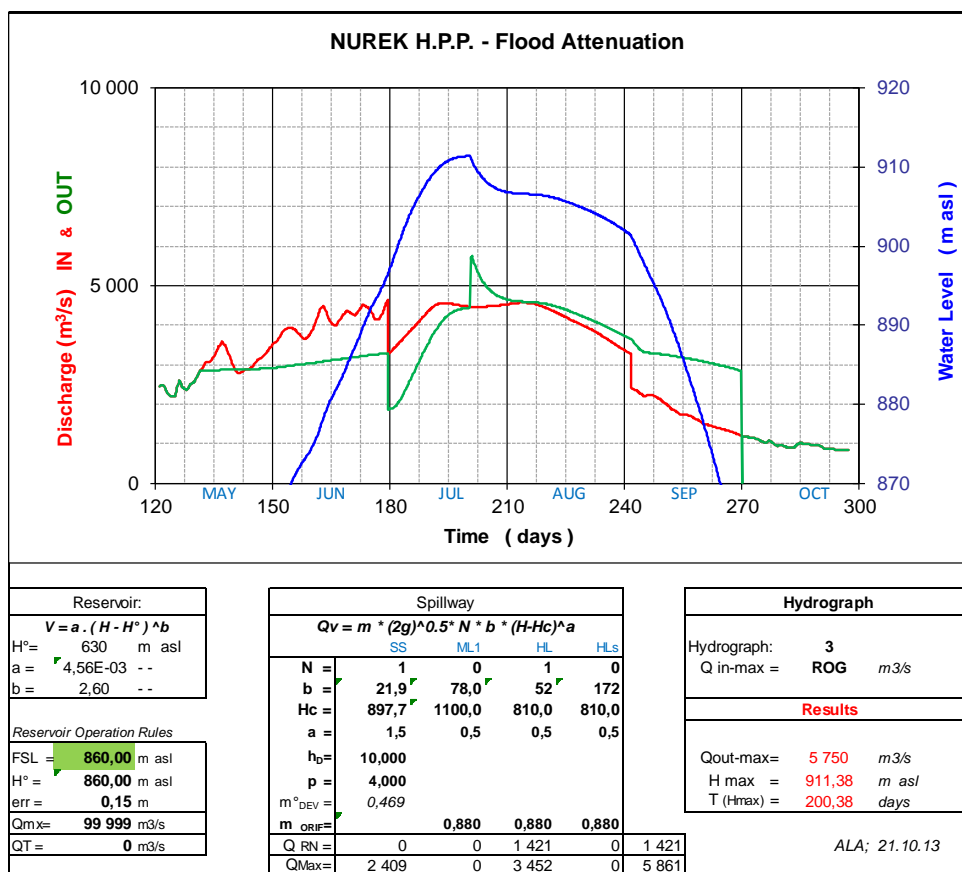


Рис. 5-1 Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м. управление МВП при помощи 3 тоннелей и 1 поверхностного водосброса в Рогуне через 40 лет седиментации. Ослабление паводка в Нуреке с начальным уровнем на отметке 860 м.н.у.м.

5.4 Исследованные случаи ослабления паводка

Исследованные случаи являются возможными вариантами, определенными для защиты Рогуна и модернизированными в случае необходимости для обеспечения безопасности функционирования каскада.

Вариант НПУ = 1220 м.н.у.м.:

Возможные варианты, определенные для защиты Рогунской плотины при варианте НПУ = 1220 м:

- = 3 модуля поверхностного водосброса с 4 затворами каждый и 1 тоннель с 3 затворами, уровень гребня плотины на 1230 м.н.у.м.
- = 2 модуля поверхностного водосброса с 4 затворами и 1 тоннелем с 3 затворами каждый, уровень гребня плотины на 1231,5 м.н.у.м.

- = 1 модуль поверхностного водосброса с 4 затворами и 2 тоннеля с 3 затворами, уровень гребня плотины на отметке 1234,5 м.н.у.м.

- = 1 поверхностный водосброс с 4 затворами и 3 тоннеля с 3 затворами; уровень гребня плотины 1230 м.н.у.м.;

Для каждой комбинации водосбросов, вычисления проводятся для МВП наступающего после 30 лет заиления и при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1155 м.

Другое вычисление сделано для паводка с возвратным периодом в 10,000 лет наступающего после 30 лет заиления, при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1155 м, при эксплуатации N-1 тоннелей и с 3 открытыми затворами для 1 поверхностного водосброса и 6 открытыми затворами для 2 или 3 модулей поверхностного водосброса.

Вариант НПУ = 1255 м:

Эффективный вариант, определенный для защиты Рогунской плотины для варианта НПУ = 1255 м, это 1 поверхностный водосброс с 4 затворами, 3 тоннеля с 3 затворами каждый и гребень плотины на 1265 м.

Вычисления сделаны для МВП наступающего после 40 лет заиления, при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1205 м.н.у.м.

Другое вычисление сделано для паводка с возвратным периодом в 10,000 лет наступающего после 40 лет заиления, при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1205 м, при функционировании 2 тоннелей и поверхностного водосброса с 3 затворами

Вариант НПУ = 1290 м:

Эффективный вариант, определенный для защиты Рогунской плотины при варианте НПУ = 1290 м, это 1 поверхностный водосброс с 4 затворами, 2 тоннелями верхнего уровня с 3 затворами каждый, 1 водосбросное сооружение среднего уровня с 3 затворами и гребень плотины на 1300 м.н.у.м.

Вычисления сделаны для паводка наступающего после 40 лет заиления, при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1260 м.н.у.м

Другое вычисление сделано для паводка с возвратным периодом в 10,000 лет наступающего через 40 лет заиления, при уровне воды в Рогунском водохранилище в начале паводка на 1260 м и 2 функционирующими тоннелями и поверхностным водосбросом с 3 открытыми затворами.

5.5 Анализ результатов вычислений

Вариант НПУ = 1220 м

Результаты выполненных вычислений согласно сценариям, описанным в 5.3, следующие:

Rogun : 3 surface spillways, 1 tunnel, dam crest at 1230 masl

Δt (years) = 30 years	PMF		10000 years	
	900	860	900	860
Starting water level at Nurek	900	860	900	860
tunnel gates at Rogun	3	3	0	0
surface gates at Rogun	12	12	10	10
Hmax at Nurek	918	916,7	911,6	900,4
Qmax outlet of Nurek	6775	6283	4580	3511

Rogun : 2 surface spillways, 1 tunnel, dam crest at 1232 masl

Δt (years) = 40 years	PMF		10000 years	
	900	860	900	860
Starting water level at Nurek	900	860	900	860
tunnel gates at Rogun	3	3	0	0
surface gates at Rogun	8	8	6	6
Hmax at Nurek	917,9	916,6	911,4	900,1
Qmax Nurek Surface spillway	6733	6223	4607	3485

Rogun : 1 surface spillways, 2 tunnels, dam crest at 1234 masl

Δt (years) = 30 years	PMF		10000 years	
	900	860	900	860
Starting water level at Nurek	900	860	900	860
tunnel gates at Rogun	6	6	3	3
surface gates at Rogun	4	4	3	3
Hmax at Nurek	916,7	915,0	907,3	895,3
Qmax outlet of Nurek	6255	5759	4533	3286

Rogun : 1 surface spillways, 3 tunnels, dam crest at 1230 masl

Δt (years) = 30 years	PMF		10000 years	
	900	860	900	860
Starting water level at Nurek	900	860	900	860
tunnel gates at Rogun	9	9	6	6
surface gates at Rogun	4	4	3	3
Hmax at Nurek	914,7	914,2	908,8	902,8
Qmax outlet of Nurek	5885	5862	4985	3840

Красные ячейки подчеркивают значения выше, чем уровень гребня ядра плотины.

Оранжевые ячейки подчеркивают значения между НПУ и уровнем гребня ядра плотины (сброс через поверхностный водосброс превышает его проектный сброс).

Это результаты показывают, что:

- = во всех случаях, уровень воды в Нуреке превышает максимальный уровень воды, приемлемый во время МВП. Это означает, что требуется адаптировать приемлемые варианты для Рогуна, чтобы соответствовать требованиям по защите сооружений ниже по течению от Рогуна.
- = во всех случаях, максимальный поток, сбрасываемый с Нурека, выше, чем проектное значение 5462 м³/с
- = Во всех случаях для управления МВП, сработка уровня воды в Нуреке при обнаружении паводка не дает достаточной разницы в максимальном уровне воды в Нуреке и потоке на выходном портале Нурека, чтобы сделать решения приемлемыми.

Способом снизить максимальный уровень воды в Нуреке и максимальный поток на водосбросном сооружении Нурека является снизить поток на водосбросном сооружении Рогуна, и как следствие повысить емкость водохранилища в Рогуне и соответственно гребень плотины Рогуна.

Расчеты показывают, что не существует приемлемых решений для вариантов с только одним тоннелем: с одним тоннелем, единственный способ обеспечить максимальный уровень воды в Нуреке на приемлемом значении является увеличение высоты гребня плотины до примерно 1280 м.н.у.м.

С двумя тоннелями, похожие расчеты показывают, что гребень плотины должен быть поднят в Рогуне до 1258 м.н.у.м. и что только один затвор поверхностного водосброса должен быть частично открыт. В этом случае, максимальный уровень воды в Нуреке 910 м.н.у.м., с начальным уровнем воды в апреле на 860 м.н.у.м. и пиковым потоком в тоннельном водосбросе равным 2021 м³/с.

С 3 тоннелями, чтобы добиться максимального уровня воды в Нуреке на отметке 910 м.н.у.м. и максимального потока в водосбросном сооружении около 2020 м³/с, необходимо использовать 3 тоннеля с частичным открытием затворов (два тоннеля полностью открыты и третий открыт на 60%), и поднят гребень плотины в Рогуне до 1251 м.н.у.м. Результаты в Нуреке следующие:

Rogun : 2 tunnels opened, 1 tunnel 60% opened, dam crest at 1251 masl				
Δt (years) = 30 years	PMF		10000 years	
Starting water level at Nurek	900	860	900	860
tunnel gates at Rogun	7,8	7,8	6	6
surface gates at Rogun	0	0	0	0
Hmax at Nurek	910,3	910,1	907,6	899,2
Qmax Nurek Surface spillway	2105	2043	1423	72

Таким образом, нет осуществимого решения для защиты Нурека и каскада от МВП с вариантом плотины НПУ = 1220 м.н.у.м. без значительного увеличения доступного надводного борта, следовательно значительно меняется схема плотины. Гребень плотины должен быть как минимум на отметке 1251 м.н.у.м.

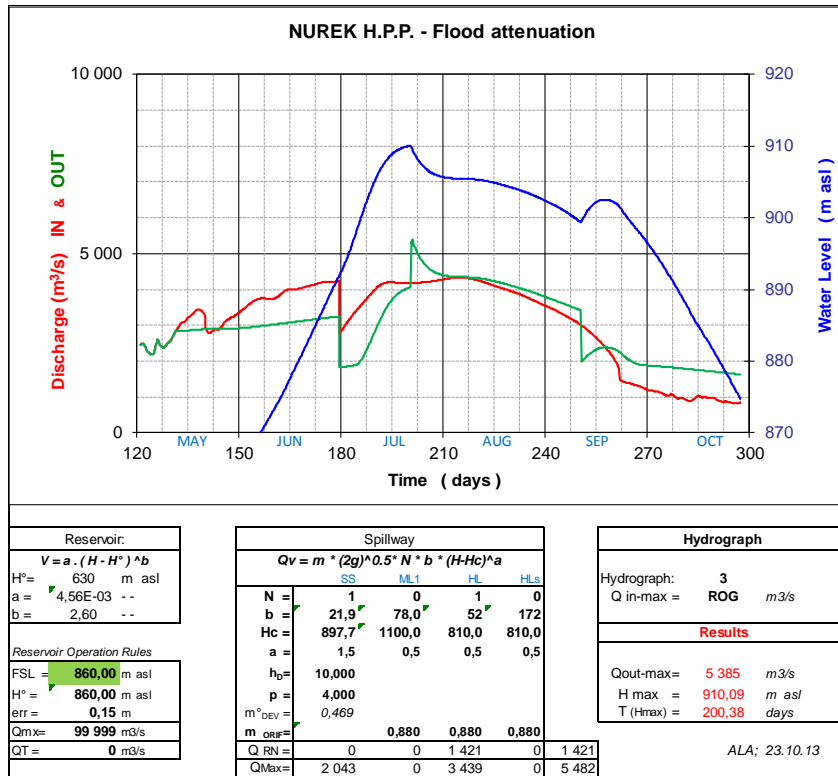


Рис. 5-2 Вариант НПУ = 1220 м.н.у.м., управление МВП в Рогуне через 30 лет седиментации с 3 тоннелями, 1 тоннель открыт на 60%. Прием паводка в Нуреке с начальным уровнем на 860 м.н.у.м.

Вариант НПУ = 1255 м

Результаты выполненных вычислений согласно сценариям, описанным в 5.3, следующие:

Rogun : 1 surface spillways, 3 tunnels, dam crest at 1265 masl

Δt (years) = 40 years	PMF				10000 years			
	900	860	900	860	900	860	900	860
Water level in April	900	860	900	860	900	860	900	860
tunnel gates	9	9	9	9	9	9	9	9
surface gates	0	0	4	4	0	0	4	4
Hmax	911,5	911,4	911,5	911,4	909,1	904,8	909,1	904,8
Qmax	5414	5391	5414	5391	4694	4127	4694	4127

- Сработка Нурека в случае паводка, дает дополнительную безопасность для паводков такого типа как паводок с 10000-летним возвратным периодом. Однако, для наиболее экстремальных, это не дает значительной разницы в максимальном уровне Нурека и в потоке на водосбросном сооружении Нурека.

Максимальный уровень воды в водохранилище Нурека и максимальный поток в поверхностном водосбросе Нурека похожи на текущие проектные характеристики Нурека, при условии, что в Рогуне 2 тоннеля полностью находятся в эксплуатации и один открыт на 60% и поверхностный водосброс закрыт.

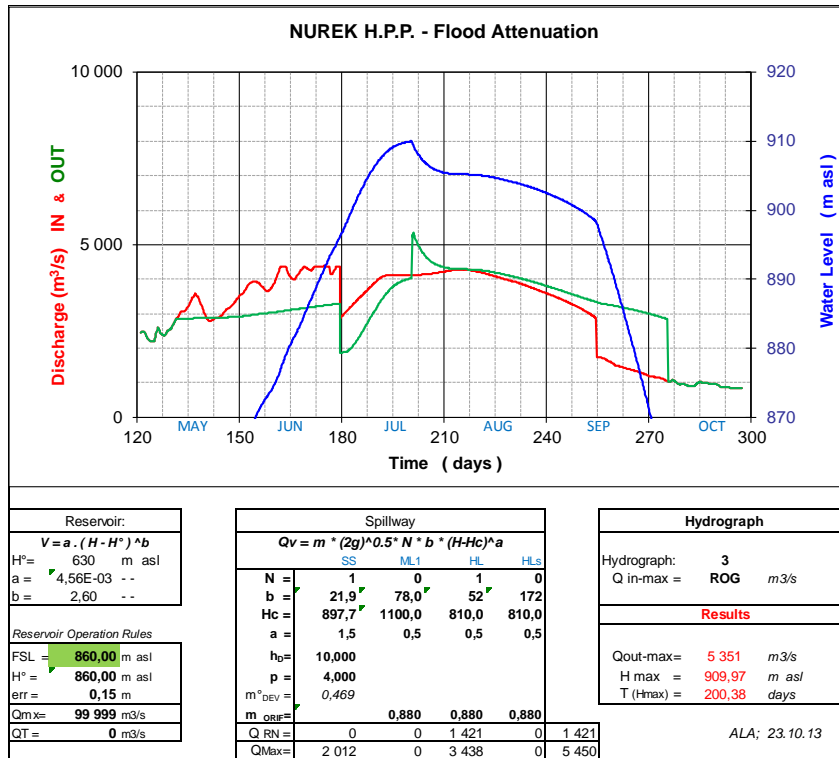


Рис. 5-2 Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м. управление МВП в Рогуне при помощи 3 тоннелей, 1 тоннель открыт на 60%, через 40 лет седиментации. Прием паводка в Нуреке с начальным уровнем на 860 м.н.у.м.

Rogun : 1 surface spillway, 2 high level tunnel, 1 mid level outlet, dam crest at 1300 masl

Δt (years) = 40 years	PMF		10000 years	
Starting water level at Nurek (may)	900	860	900	860
high level tunnel gates at Rogun	4	4	4	4
mid level outlet gates at Rogun	1	1	1	1
surface gates at Rogun	4	4	4	4
Hmax at Nurek	910,3	910,1	909,4	906,4
Qmax Surface spillway Nurek	2090	2050	1127	0
Qmax outlet of Nurek	5425	5389	4444	3292

Они показывают что:

- Сработка уровня воды в Нуреке в случае паводка дает дополнительную безопасность для паводков такого типа, как паводок с 10000-летним возвратным периодом. Однако, для наиболее экстремальных паводков, это не дает значительной разницы

не дает значительной разницы в максимальном уровне воды в Нуреке и потоке на водосбросном сооружении Нурека.

Вариант НПУ = 1290 м

Результаты выполненных вычислений согласно сценариям, описанным в 5.3, следующие:

- Максимальный уровень воды в Нурекском водохранилище и максимальный поток в поверхностном водосбросе Нурека похожи на текущие проектные характеристики Нурека, при условии, что в Рогуне 2 затвора тоннелей верхнего уровня и два затвора водосбросного сооружения среднего уровня закрыты.

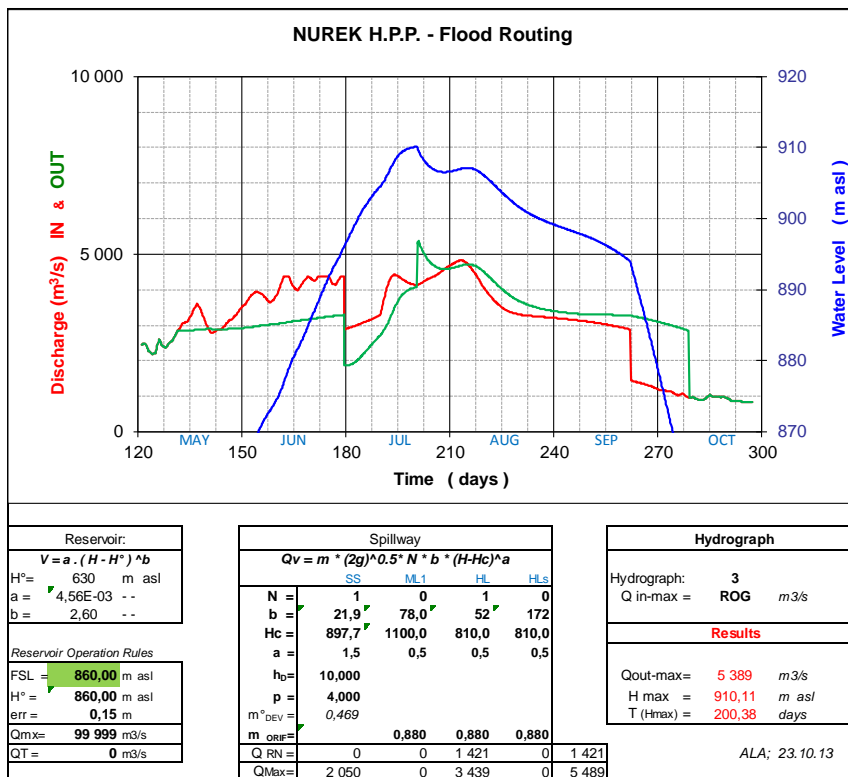


Рис. 5-3 Вариант НПУ = 1290 м.н.у.м. управление МВП при помощи 2 тоннелей верхнего уровня открытых на 67%, 1 водосбросного сооружения среднего уровня открытого на 33% и функционирующего поверхностного водосброса в Рогуне через 40 лет седиментации. Турбины работают до 180 дня. Прием паводка в Нуреке с начальным уровнем на 860 м.н.у.м.

5.6 Выводы по управлению большими паводками

Вариант НПУ = 1220 м

Для данного варианта, 3 варианта соответствуют критериям, определенным во втором параграфе «Основные ограничения». Кроме этих вариантов, ничего не способно обеспечить защиту Нурека с потоком, выбрасываемым через поверхностный водосброс Нурека в диапазоне своего расчетного значения.

Ближайшим решением для защиты Нурека является реализация 3 тоннелей и поверхностный водосброс в Рогуне и подъем гребня плотины как минимум на 1251 м.н.у.м.

Вариант НПУ = 1255 м.н.у.м.

Для этого варианта, выбранное решение в Рогуне достаточно снижает поток, поэтому максимальный уровень воды и максимальный уровень в поверхностном водосбросе соответствуют требуемым значениям.

Вариант НПУ = 1290 м.н.у.м.

Для этого варианта, выбранное решение в Рогуне достаточно снижает поток, поэтому максимальный уровень воды и максимальный уровень в поверхностном водосбросе соответствуют требуемым значениям.

6 ВЫВОД И РЕКОМЕНДАЦИЯ

Вариант НПУ = 1220 м

Было найдено три варианта предоставляющих приемлемую защиту для Рогуна. Наименее затратным и рекомендуемым вариантом является вариант с 2 модулями поверхностного водосброса, 1 тоннелем и подъемом гребня на 1.5 м.

Кроме остальных трех вариантов, ни один не может быть адаптирован соответствующим образом, чтобы защитить Нурек и каскад. Ближайшим решением является гребень плотины поднятый до отметки как минимум 1251 м.н.у.м.

Функции	Защита только Рогуна	Защита каскада
Сооружения и требования	2 модуля поверхностного водосброса, 1 тоннель + подъем гребня на 1.5 м	1 модуль поверхностного водосброса, 3 тоннеля и плотина на 21м выше
Затраты	291 млн. евро	603 млн. евро

Консультант рекомендует подробно рассмотреть проект Нурекского поверхностного водосброса во время 3 стадии исследований, чтобы убедиться, что не будет никаких повреждений даже при проектном потоке.

Максимальные уровни в водохранилищах и максимальные потоки следующие:

t=30 лет	Максимальные уровни	Максимальные выходные потоки
Рогун во время МВП	1226.4 м.н.у.м.	7496 м ³ /с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	1227.9 м.н.у.м.	5427 м ³ /с
Нурек во время МВП	916.6 м.н.у.м.	6223 м ³ /с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	900.1 м.н.у.м.	3485 м ³ /с

Вариант НПУ = 1255 м

Решение с 3 тоннелями необходимыми для строительства дополненными 1 поверхностным водосбросом представляет приемлемую защиту Рогуна от МВП и паводка с возвратным периодом в 10,000 лет.

Частичное закрытие одного тоннеля, когда обнаружен потенциальный высокий паводок предоставляет защиту для Нурека и низовых сооружений.

Поверхностный водосброс на Рогуне необходим в случае отказа работы затворов в тоннелях.

Консультант рекомендует подробно рассмотреть проект Нурекского поверхностного водосброса во время 3 стадии исследований, чтобы убедиться, что не будет никаких повреждений даже при проектном потоке.

Максимальные уровни в водохранилищах и максимальные потоки следующие:

t=40 лет	Максимальные уровни	Максимальные выходные потоки
Рогун во время МВП	1262,0 м.н.у.м.	4380 м ³ /с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	1232,5 м.н.у.м.	3614 м ³ /с
Нурек во время МВП	910,0 м.н.у.м.	5351 м ³ /с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	901 м.н.у.м.	3587 м ³ /с

Вариант НПУ = 1290 м.н.у.м.

Решение с 2 тоннелями верхнего уровня и водосбросным сооружением среднего уровня, необходимого для строительства, дополненное 1 поверхностным водосбросом, предоставляет приемлемую защиту для Рогуна от МВП и паводка с 10000-летним возвратным периодом.

Частичное закрытие одного тоннеля верхнего уровня и открытие только 1 затвора водосбросного сооружения среднего уровня, когда обнаружен потенциальный высокий паводок, обеспечивает защиту Нурека и низовых сооружений.

Поверхностный водосброс необходим в случае недоступности затворов в тоннелях.

Консультант рекомендует подробно рассмотреть проект Нурекского поверхностного водосброса во время 3 стадии исследований, чтобы убедиться, что не будет никаких повреждений даже при проектном потоке.

Максимальные уровни в водохранилищах и максимальные потоки следующие:

t=40 лет	Максимальные уровни	Максимальные выходные потоки
-----------------	----------------------------	-------------------------------------

Рогун во время МВП	1291,9 м.н.у.м.	4828 м3/с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	1278,9 м.н.у.м.	3394 м3/с
Нурек во время МВП	910,1 м.н.у.м.	5389 м3/с
Рогун во время паводка с 10000-летним возвратным периодом	895,9 м.н.у.м.	3292 м3/с

Выводы

Во время хода исследования, было решено сделать Рогун многоцелевой плотиной и спроектировать ее таким образом, чтобы защитить весь каскад от МВП. Это дополнительное преимущество обеспечивается двумя самыми высокими исследованными вариантами (НПУ = 1255 м.н.у.м. и НПУ = 1290 м.н.у.м.). Так как эти преимущества отражены в системных затратах для этих проектов, для правильного сравнения необходимо включить затраты на обеспечение похожих преимуществ по защите от паводков в экономический анализ для варианта без Рогун и в любой вариант проекта Рогун, который не предоставляет этого преимущества.

Для количественной оценки мы рассмотрели предотвращенные расходы, которые должны были быть для альтернативного метода, а именно строительство дополнительных водосбросов на Нурекской ГЭС. Стоимость этих водосбросов была оценена в 318 млн. долл. США, хотя прогнозы по защите всего каскада могут стоить максимально 945 млн. долл. США.

В следующих стадиях проекта рекомендуется более подробно исследовать систему защиты всего Вахшского каскада, фокусируясь в частности на пропускной способности Нурека, ограничении на пропуск потока через турбины в Рогуне и возможные меры для реализации, такие как система раннего обнаружения паводка.

Приложение 1- Результаты вычислений

Красные клетки указывают ситуации, где уровень водохранилища выше гребня. Сценарии, относящиеся к красным клеткам, неприемлемы.

Оранжевые клетки указывают ситуации, где уровень водохранилища выше ядра гребня. Данные сценарии считаются приемлемыми решениями только в исключительных случаях.

НПУ = 1220 м

Δt (years) =	0																				
Water level in April	1125																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1233,7	1242,4	1239,1	1234,9	1229,6	1235,1	1233,2	1230,8	1227,3	1231,4	1230	1228,3	1225,6	1229	1227,9	1226,6	1224,6				
Qmax	4671	6287	6189	5985	5664	6781	6725	6576	6190	7008	6969	6874	6523	7139	7110	7047	6751				

Δt (years) =	0																				
Water level in April	1135																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1233,7	1242,4	1239,1	1234,9	1229,6	1235,1	1233,2	1230,8	1227,3	1231,4	1230	1228,3	1225,8	1229,3	1228,2	1227	1225,6				
Qmax	4671	6288	6191	5987	5665	6781	6725	6577	6191	7008	6969	6874	6524	7276	7255	7226	7125				

Δt (years) =	20																				
Water level in April	1125																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1240,0	1243,8	1240,8	1237,3	1232,8	1235,7	1233,9	1231,9	1229,3	1231,8	1230,4	1228,9	1227,1	1229,3	1228,2	1227,0	1225,6				
Qmax	4829	6563	6507	6392	6142	6983	6947	6885	6674	7169	7142	7103	6956	7276	7255	7226	7125				

Δt (years) =	20																				
Water level in April	1135																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1240	1243,8	1240,8	1237,3	1232,8	1235,8	1233,9	1231,9	1229,3	1231,8	1230,4	1228,9	1227,1	1229,3	1228,2	1227	1225,6				
Qmax	4829	6563	6507	6392	6142	6983	6847	6885	6674	7169	7142	7103	6956	7276	7255	7226	7125				

Δt (years) =	40																				
Water level in April	1125																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1239,3	1243,3	1240,4	1236,9	1232,5	1235,6	1233,8	1231,7	1229,1	1231,7	1230,3	1228,8	1227,0	1229,2	1228,1	1226,9	1225,5				
Qmax	4812	6478	6427	6324	6103	6927	6947	6834	6639	7128	7104	7066	6928	7246	7226	7196	7102				

Δt (years) =	40																				
Water level in April	1135																				
tunnel gates	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9
surface gates	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
Hmax	1239,3	1243,3	1240,4	1236,9	1232,5	1235,6	1233,8	1231,7	1229,1	1231,7	1230,3	1228,8	1227	1229,2	1228,1	1226,9	1225,5				
Qmax	4812	6478	6427	6324	6103	6927	6894	6834	6639	7128	7104	7066	6928	7246	7226	7196	7102				

НПУ = 1255 м

Δt (years) =	0																					
Water level in April	1195																					
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9	7	8	9	
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
Hmax	1278,2	1262	1247,6	1272,8	1266,2	1257,61	1247,6	1267,9	1263,7	1256,7	1247,6	1264,9	1262	1256,2	1247,6	1260,7	1255,7	1247,6				
Qmax	4040	4336	4554	5583	5117	4653	4554	6286	5763	4900	4554	6631	6172	5123	4554	6453	5309	4554				

Δt (years) =	0																					
Water level in April	1205																					
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9	7	8	9	
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	
Hmax	1278,7	1262,4	1248,2	1273,1	1266,6	1257,8	1248,2	1269	1264	1257,1	1248,2	1264,99	1262,2	1256,6	1248,2	1260,9	1256,1	1248,2				
Qmax	4050	4346	4568	5631	5179	4676	4568	6315	5832	4981	4568	6647	6239	5221	4568	6515	5419	4568				

Δt (years) =	0																	
Water level in April	1215																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1279,6	1263,3	1249,7	1273,4	1267,3	1258,8	1249,7	1268,1	1264,4	1257,9	1249,7	1265	1262,5	1257,3	1249,7	1261,1	1256,7	1249,7
Qmax	4065	4364	4606	5684	5277	4775	4614	6345	5940	5122	4621	6662	6337	5390	4629	6600	5608	4636

Δt (years) =	40																	
Water level in April	1195																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1285,9	1267,6	1253,6	1275,5	1270,4	1262,6	1253,3	1269,1	1266,2	1260,9	1253,1	1265,6	1263,7	1259,7	1253,0	1261,9	1258,8	1252,8
Qmax	4174	4455	4705	6076	5760	5218	4836	6640	6411	5707	4947	6897	6747	6045	5045	6946	6295	5131

Δt (years) =	40																	
Water level in April	1205																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1286,2	1267,8	1254	1275,6	1270,5	1262,8	1253,7	1269,1	1266,3	1261,1	1253,5	1265,6	1263,7	1259,8	1253,0	1261,9	1258,9	1253,1
Qmax	4179	4460	4717	6090	5787	5251	4867	6644	6432	5750	4994	6898	6761	6090	5103	6956	6342	5199

Δt (years) =	40																	
Water level in April	1215																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1286,8	1268,3	1255	1275,7	1270,6	1263,3	1254,6	1269,1	1266,4	1261,4	1254,3	1265,7	1263,8	1260,1	1254	1262	1259,2	1253,8
Qmax	4189	4471	4741	6106	5834	5317	4937	6649	6466	5831	5098	6900	6784	6177	5233	6970	6430	5349

Δt (years) =	80																	
Water level in April	1195																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1287,4	1269,5	1257,0	1275,7	1271,2	1264,4	1256,3	1269,2	1266,6	1262,2	1255,8	1265,7	1263,9	1260,7	1255,3	1262,0	1259,6	1255,0
Qmax	4199	4495	4790	6116	5900	5462	5087	6660	6521	6007	5315	6912	6826	6361	5498	7003	6608	5650

Δt (years) =	80																	
Water level in April	1205																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1287,5	1269,5	1257,1	1275,75	1271,2	1264,5	1256,4	1269,2	1266,6	1262,3	1255,8	1265,7	1263,9	1260,8	1255,4	1262	1259,6	1255
Qmax	4200	4496	4793	6120	5906	5470	5097	6661	6525	6017	5330	6913	6828	6370	5515	7004	6616	5670

Δt (years) =	80																	
Water level in April	1215																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1287,7	1269,8	1257,6	1275,8	1271,3	1264,7	1256,8	1269,2	1266,7	1262,4	1256,2	1265,7	1263,9	1260,9	1255,7	1262,1	1259,7	1255,3
Qmax	4205	4501	4804	6126	5924	5499	5132	6663	6535	6051	5379	6913	6834	6404	5576	7007	6649	5744

НПУ = 1290 м

Δt (years) =	0																	
Water level in April	1260																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1303,1	1290,5	1279,6	1302,6	1296,2	1289,4	1279,6	1299,8	1294,2	1288,7	1279,6	1297,9	1293,4	1288,2	1279,6	1296,4	1296,4	1296,4
Qmax	3991	4307	4567	4894	4595	4479	4567	5610	4912	4581	4567	6046	5241	4650	4567	6337	6337	6337

Δt (years) =	0																	
Water level in April	1270																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1306,3	1293,7	1284,7	1304,2	1298,2	1291,0	1284,7	1300,7	1296,5	1290,6	1284,6	1298,4	1295,3	1290,3	1284,6	1296,8	1296,8	1296,8
Qmax	4047	4376	4696	5139	4835	4617	4703	5837	5390	4849	4710	6227	5776	5044	4717	6474	6474	6474

Δt (years) =	0																	
Water level in April	1280																	
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	7	8	9
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4
Hmax	1310,0	1297,8	1291,6	1305,5	1300,8	1295,3	1291,0	1301,2	1298,2	1294,2	1290,6	1298,6	1296,5	1293,3	1290,3	1296,9	1296,9	1296,9
Qmax	4111	4463	4866	5346	5192	5049	5151	5979	5786	5468	5381	6314	6146	5778	5572	6527	6527	6527

Δt (years) =	40															
Water level in April	1260															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1306,6	1293,1	1281,9	1304,9	1297,9	1290,8	1281,9	1301,1	1296,3	1289,6	1281,9	1298,7	1295,1	1289,3	1281,9	1297,1
Qmax	4055	4363	4626	5141	4800	4591	4626	5959	5341	4700	4626	6354	5722	4853	4626	6599

Δt (years) =	40															
Water level in April	1270															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1309,6	1295,9	1286,5	1305,9	1300,2	1293,1	1286,4	1301,6	1297,9	1292,4	1286,4	1299,0	1296,4	1291,8	1286,3	1297,2
Qmax	4104	4422	4741	5415	5108	4814	4794	6088	5718	5137	4844	6437	6109	5392	4889	6653

Δt (years) =	40															
Water level in April	1280															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1312,8	1299,5	1293,0	1306,8	1302,2	1296,7	1292,3	1301,9	1299,1	1295,2	1291,6	1299,1	1297,1	1294,2	1291,1	1297,2
Qmax	4159	4498	4902	5558	5399	5217	5267	6165	5999	5684	5546	6476	6343	6012	5769	6673

Δt (years) =	100															
Water level in April	1260															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1311,4	1296,2	1284,9	1307,2	1300,9	1293,1	1284,9	1302,3	1298,4	1292,4	1284,9	1299,5	1296,7	1291,8	1284,9	1297,6
Qmax	4136	4431	4702	5626	5203	4815	4714	6290	5828	5132	4726	6620	6222	5381	4737	6818

Δt (years) =	100															
Water level in April	1270															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1313,8	1298,6	1288,9	1307,8	1302,5	1295,6	1288,6	1302,5	1299,4	1294,4	1288,4	1299,6	1297,4	1293,5	1288,3	1297,6
Qmax	4176	4479	4801	5728	5444	5084	4947	6345	6079	5506	5073	6647	6445	5816	5184	6831

Δt (years) =	100															
Water level in April	1280															
tunnel gates	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6	7	8	9	6
surface gates	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4
Hmax	1316,6	1301,7	1295,0	1308,2	1303,9	1298,4	1293,8	1302,6	1300,1	1296,5	1292,9	1299,6	1297,7	1295,1	1292,2	1297,6
Qmax	4223	4544	4950	5812	5655	5439	5427	6377	6243	5952	5764	6659	6558	6287	6019	6836

Приложение 2: описание расчетов ослабления паводков

Рогунский гидроэнергетический проект

Расчет трансформации стока в водохранилище

Описание таблицы использованной для

Расчета распространения паводка в водохранилищах

1. ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ

Были произведены табличные вычисления для моделирования распространения паводка в водохранилищах (Рогун и/или Нурек), чтобы оценить максимальные расходы и уровни воды.

Вычисления неравномерного потока основаны только уравнении неразрывности, так как силы инерции и сопротивления не играют значительной роли ⁽¹⁾. Основным уравнением является баланс между ПРИТОКОМ, ИСХОДЯЩИМ ПОТОКОМ и ОБЪЕМ ВОДЫ в водохранилище в единицу времени.

$$Q_{IN}(t) - Q_{OUT}(H) = \frac{dV}{dt} \quad (\text{ур. 1})$$

Где:

Q_{IN} : ПРИТОК: расход, производимый рекой и/или верховым водохранилищем

Q_{OUT} : ИСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ: расход в результате трансформации стока в водохранилище

$\frac{dV}{dt}$: Изменение объема водохранилища в единицу времени

$H; t$: "H" и "t" обозначают уровень водохранилища и время соответственно

Уравнение (1) решается последовательно, делая приближение $dt \approx \Delta t$.

На каждом временном шаге расчет происходит следующим образом:

- Вводится новое значение притока, зависящего от времени и оценивается соответствующий объем " $Q_{IN} \times \Delta t$ ". Временные серии могут быть часовыми, дневными и т.д.
- На тот же момент времени, исходящий поток оценивается как функция от отметки водохранилища. Так же оценивается соответствующий объем " $Q_{OUT} \times \Delta t$ ".
- Вычисляется разность объемов " $(Q_{IN} - Q_{OUT}) \times \Delta t$ " и добавляется к объему воды в водохранилище, оцененного на предыдущим временном шаге. Положительная (отрицательная) разница вырабатывает увеличение (уменьшение) объема воды, содержащейся в водохранилище и соответственно увеличение (уменьшение) уровня водохранилища.

(1) «Поток в открытом русле», Ф.М. Хендерсон. Серии МакМиллана в гражданском строительстве. 1966.

- Расчеты повторяются после пика исходящей волны

2. ОПИСАНИЕ ТАБЛИЦЫ

2.1 Стандартный результат

Рис. 1 показывает стандартное представление данные и результатов табличных расчетов.

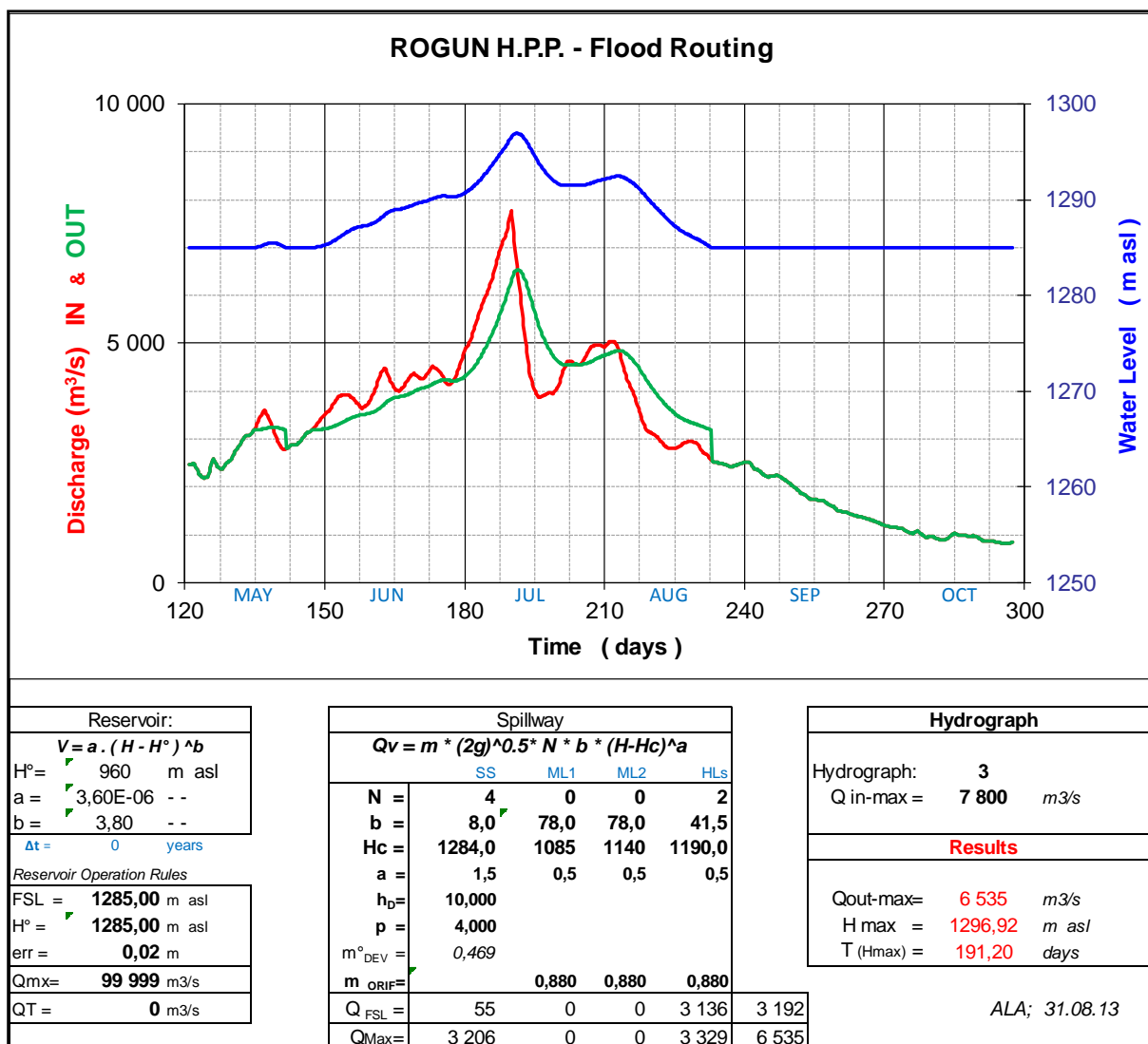


Рис 1: стандартный результат табличного расчета трансформации стока в водохранилище

Различные области результата расчета предоставляют информацию об объеме водохранилища, правилах эксплуатации водохранилища, пропускных способностях водосбросных сооружений (поверхностные водосбросы и тоннели), а также идентифицируют по кодовому числу гидрограф подходящего паводка, а также пик его расхода. В итоге результаты предоставляются графически (входные и выходные гидрографы и развитие уровня воды в водохранилище) и численно (максимальный расход и уровень воды).

Следующие параграфы детально описывают эту информацию.

2.2 Приток

Могут быть использованы разные формы гидрографа. Они хранятся в расчетном файле и идентифицируются по кодовому числу (последовательное натуральное число). Сохраненные гидрографы имеют максимальный расход равный единице.

Оператору необходимо только объявить число формы и пиковый расход. Программа увеличивает масштаб гидрографа до указанного максимального расхода.

Гидрографы определяются наборами точек (t ; Q_{in}). Программа интерполирует данные между двумя последовательными точками, чтобы переписать гидрограф притока с постоянными временными шагами.

Временные шаги могут быть сделаны сколь угодно маленькими, в зависимости от точности в процессе интеграции.

2.3 Характеристики водохранилища

Для расчета трансформации стока в водохранилище единственной требуемой информацией по водохранилищу является кривая H-V-S (Высота-Объем-Поверхность); т.е. емкость водохранилища как функция от уровня поверхности воды.

Эта информация дается в форме степенной функции: $V = a \cdot (H - H^{\circ})^b$. Происхождение “ H° ”, коэффициентов “ a ” и степени “ b ” происходит от поправки степенной функции для существующего набора данных “ H ; V ”. Рис. 2 показывает функциональную характеристику для водохранилища в его первоначальных условиях.

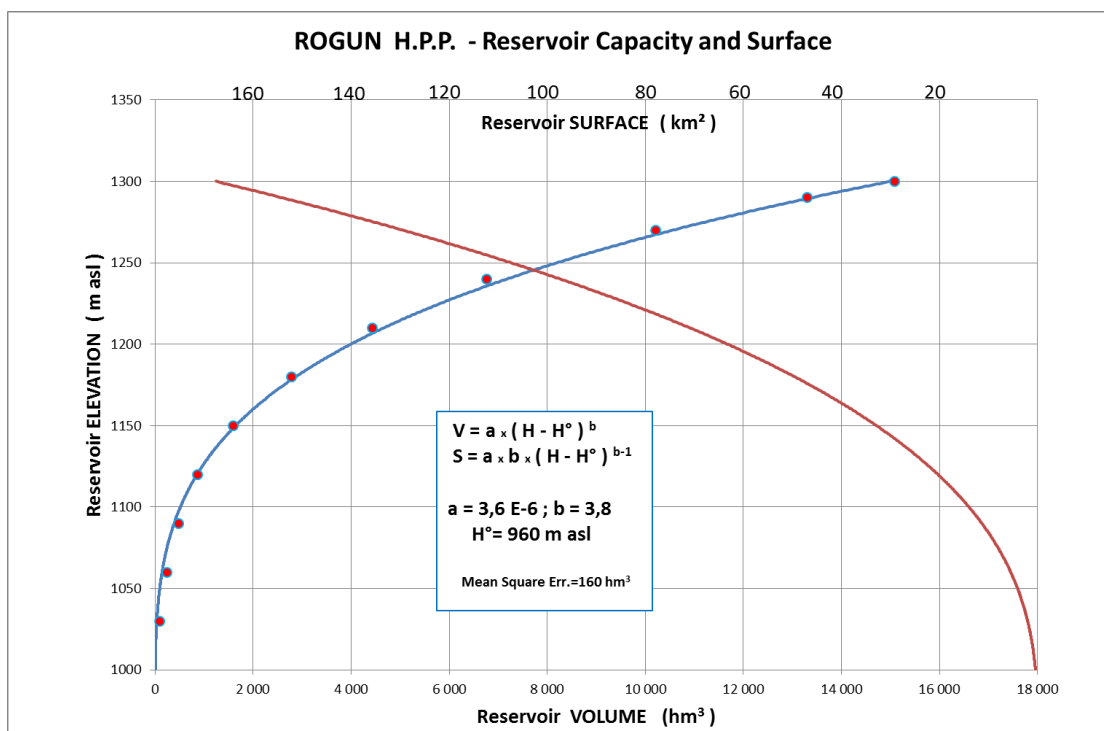


Рис 2: Кривая Н-V-S Рогунского водохранилища (первоначальные условия)

Река Вахш транспортирует значительный объем наносов. В отчете RP-43 по седиментации говорится, что годовой объем наносов попадающих в водохранилище около 60-100 млн м³/год.

Учитывая эту информацию, были вычислены серии кривых Н-V-S для трех вариантов высоты плотины (НПУ 1290, 1255 и 1220) для этих двух годовых скоростей твердого стока. Эти расчеты были сделаны с использованием методологии BUREC, установленной в разделе «Пересмотр процедуры вычисления распределения наносов в крупных водохранилищах». Результаты показаны на рис. 3, где кривые Н-V-S даны с временным интервалом в 20 лет.

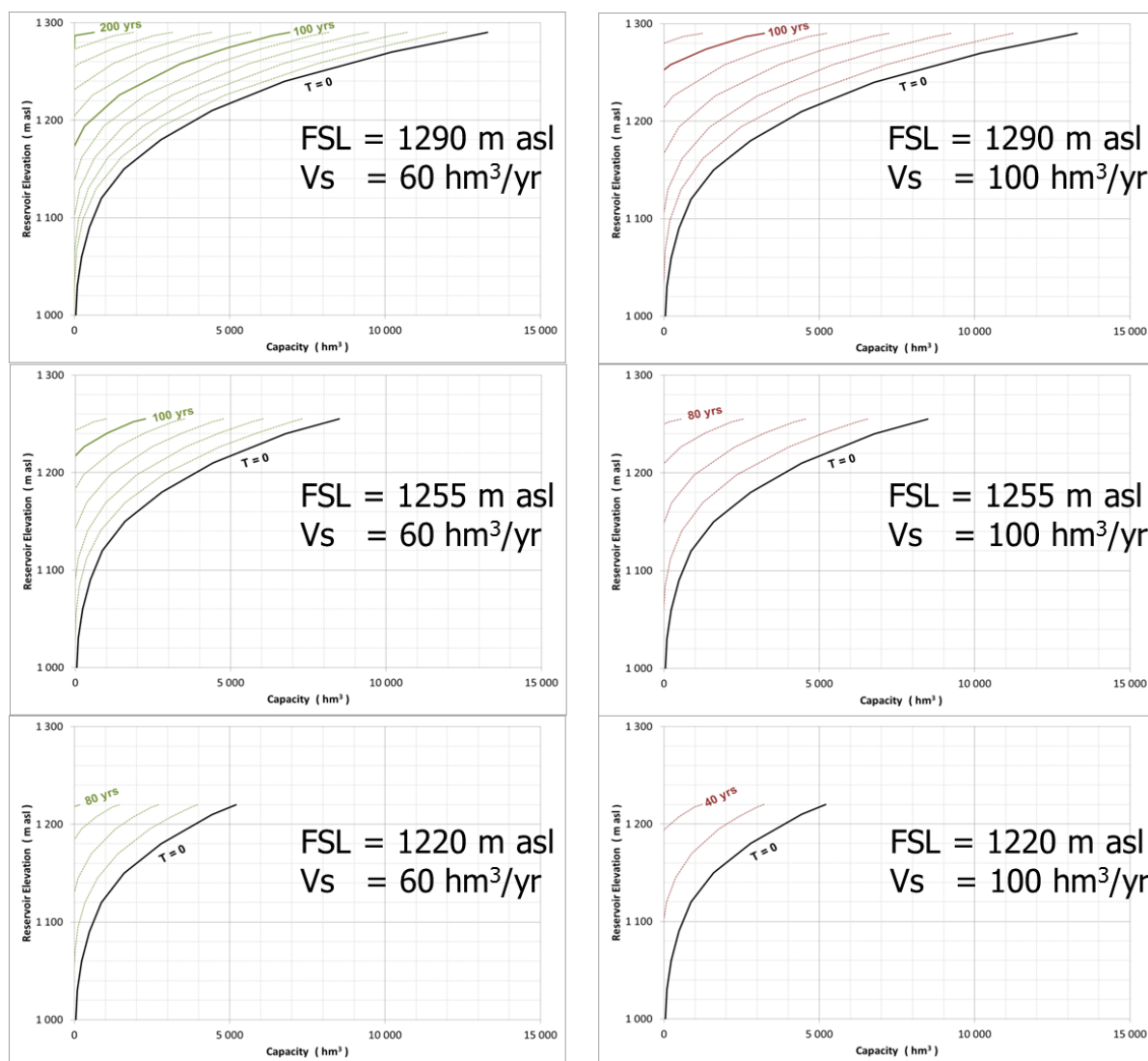


Рис. 3: Временная эволюция кривых Н-V-S для трех вариантов высоты плотины и двух скоростей наносов

Степенная функция была вычислена для каждой из этих кривых и была создана дополнительная последовательность команд, чтобы оператор мог выбрать временной горизонт для расчетов трансформации стока в водохранилище.

Power Function Adjustment to H-V-S Curves

FSL m asl	sa hm3/yr	Δt yrs	H° m asl	a div.	b - - -
1290	60	0	960	3,60E-06	3,80
1290	60	20	1020	3,89E-04	3,07
1290	60	40	1040	2,25E-04	3,20
1290	60	60	1100	3,19E-02	2,39
1290	60	80	1135	1,09E-01	2,22
1290	60	100	1170	3,80E-01	2,04
1290	60	120	1200	1,59E+00	1,81
1290	60	140	1230	5,08E+00	1,64
1290	60	160	1240	3,82E-01	2,30
1290	60	180	1260	6,21E-04	4,40
1290	60	200	1270	3,99E+00	2,05
1290	100	0	960	3,60E-06	3,80
1290	100	20	1035	4,52E-04	3,07
1290	100	40	1100	5,64E-03	2,72
1290	100	60	1165	3,58E-01	2,05
1290	100	80	1205	5,48E-01	2,06
1290	100	100	1250	6,38E+00	1,68
1290	100	120	1280	2,10E+01	1,77
1255	60	0	960	3,60E-06	3,80
1255	60	20	1030	5,99E-04	3,01
1255	60	40	1085	9,77E-03	2,59
1255	60	60	1145	4,69E-01	1,96
1255	60	80	1175	4,75E-01	2,03
1255	60	100	1200	2,59E-02	2,84
1255	60	120	1245	3,17E+01	1,50
1255	60	140	1250	1,00E+02	0,00
1255	60	160			
1255	60	180			
1255	60	200			
1255	100	0	960	3,60E-06	3,80
1255	100	20	1060	2,75E-03	2,78
1255	100	40	1145	2,45E-01	2,08
1255	100	60	1200	5,44E-01	2,10
1255	100	80	1245	9,51E-02	3,76
1255	100	100	1200	2,59E-02	2,84
1255	100	120	1245	3,17E+01	1,50
1220	60	0	960	3,60E-06	3,80
1220	60	20	1050	2,38E-03	2,78
1220	60	40	1125	6,99E-02	2,32
1220	60	60	1175	2,64E-01	2,26
1220	60	80	1215	1,00E+02	0,00
1220	60	100			
1220	60	120			
1220	60	140			
1220	60	160			
1220	60	180			
1220	60	200			
1220	100	0	960	3,60E-06	3,80
1220	100	20	1100	4,00E-02	2,35
1220	100	40	1175	2,69E-02	2,81
1220	100	60			
1220	100	80			
1220	100	100			
1220	100	120			

Таблица 1: Параметры кривых H-V-S, использованных в расчетах

2.4 Правила эксплуатации водохранилища

Несколько простых правил определяют эксплуатацию водохранилища в таблице расчетов трансформации стока в водохранилище, как показано в нижней левой части результатов расчетов (рис.1).

НПУ: он обозначает нормальный подпорный уровень. Это нормальный уровень поверхности воды, который должен сохраняться в водохранилище, кроме тех случаев, когда пропускная способность на этом уровне недостаточна чтобы пропустить входящий паводок. Если уровень водохранилища меньше НПУ, программа «сохраняет» воду для его достижения. Если уровень водохранилища выше, чем НПУ, сразу же исходящий поток будет больше чем входящий, программа приведет уровень водохранилища обратно к НПУ и будет оставаться на этом уровне.

Но : это начальная отметка поверхности воды. Она может отличаться от НПУ. Если она ниже, чем НПУ, программа будет «сохранять» воду для подъема уровня водохранилища до НПУ. Это так же называется «ожидающим уровнем», так он может быть запланирован для достижения перед паводковым сезоном, чтобы максимально увеличить емкость водохранилища, тем самым увеличивая защиту территорий от наводнения, находящихся ниже по течению.

err: он представляет допустимое отклонение в точности расчетов. Когда возникают быстрые изменения (например открытие или закрытие затвора) могут возникнуть нарушения непрерывности расчетов (неконтролируемый расход или колебание уровня). Этот параметр дает оператору возможность для «стирания» таких колебаний.

Q_{MAX}: оно позволяет остановить сброс воды на указанном расходе. Целью этого правила является предотвращение наводнений на низовых территориях. Другой стороной этой мерой является то, что уровни водохранилища будут продолжать увеличиваться. Эта возможность не используется в расчетах трансформации стока в Рогунском водохранилище.

Q_T: оно добавляет постоянный расход воды, какой мог бы быть от расхода турбин. Эта возможность не используется в расчетах трансформации стока для Рогунской ГЭС.

2.5 Водосбросные сооружения

Органы пропуска паводков характеризуются следующим уравнением:

$$Q = m \cdot \sqrt{2g} \cdot N \cdot b \cdot (H - H_0)^a \quad \text{ур. (2)}$$

Где:

Q : Пропускная способность водосбросного сооружения

m : Коэффициент расхода

- N : Число пролетов поверхностных водосбросов или число тоннелей
 b : Ширина пролетов или площадь сечений в тоннелях
 $H; H_0$: уровень водохранилища; отметка гребня водосброса (или порог сечения в тоннелях)
 a : степень уравнивания расхода: $a = 1.5$ в поверхностном водосбросе и $a = 0.5$ в тоннелях.

Коэффициент расхода в поверхностных водосбросах “ m_{0-DEV} ” должен присваиваться расчетному напору.

Должен быть объявлен расчетный напор “ h_D ”, так как пропускная способность чувствительна к разнице в напоре по отношению к расчетному напору. Коэффициент расхода для напоров над гребнем водосбросных сооружений, отличающихся от проектного напора корректируется при помощи уравнения:

$$r_1 = 0.78 + 0.22 (h / h_D)^{0.63} \quad \text{ур. (3)}$$

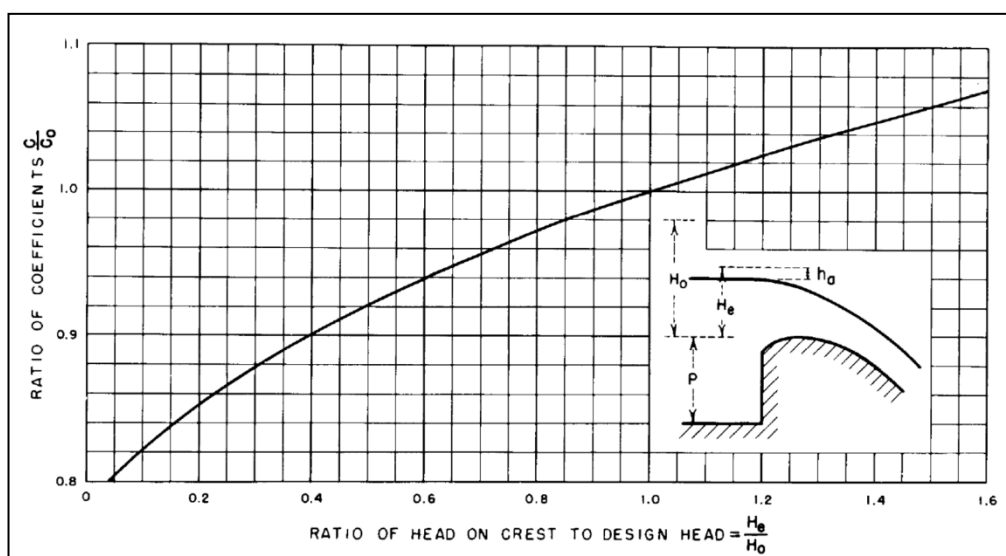


Рис. 4: Поправка коэффициент расхода для эксплуатации водосбросного сооружения с напорами, отличающимися от проектного напора (Проектирование малых плотин USBR)

Когда кривая расхода данного органа (водосбросного сооружения или тоннеля) известна, могут быть получены коэффициенты расхода “ m_{0-DEV} ” или “ m_{ORIF} ” (после введения геометрических параметров) путем внесения поправок в коэффициент, пока не будет получен правильный расход (как в кривой расхода), в соответствии с “ Q_{FSL} ” результата расчета (рис. 1).

2.6 Результаты

Результаты расчета трансформации стока в водохранилище показаны графически (временная эволюция притока, исходящего потока и уровень поверхности воды).

Максимальный расход и уровень поверхности воды приведены в нижней правой части распечатки.

* * *

Приложение 3: Поверхностные водосбросы в Нуреке в результате дают увеличение потока

В текущем приложении мы представляем результаты расчетов скоростей, глубины воды и коэффициент кавитации для тоннеля после поверхностного водосброса в Нуреке.

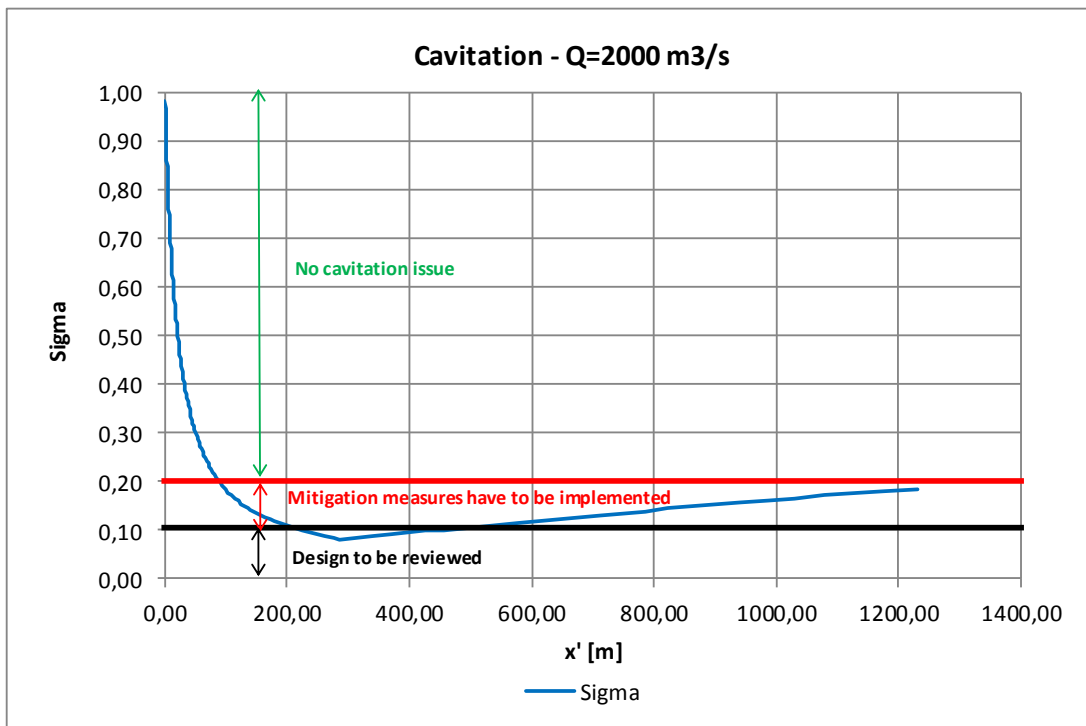
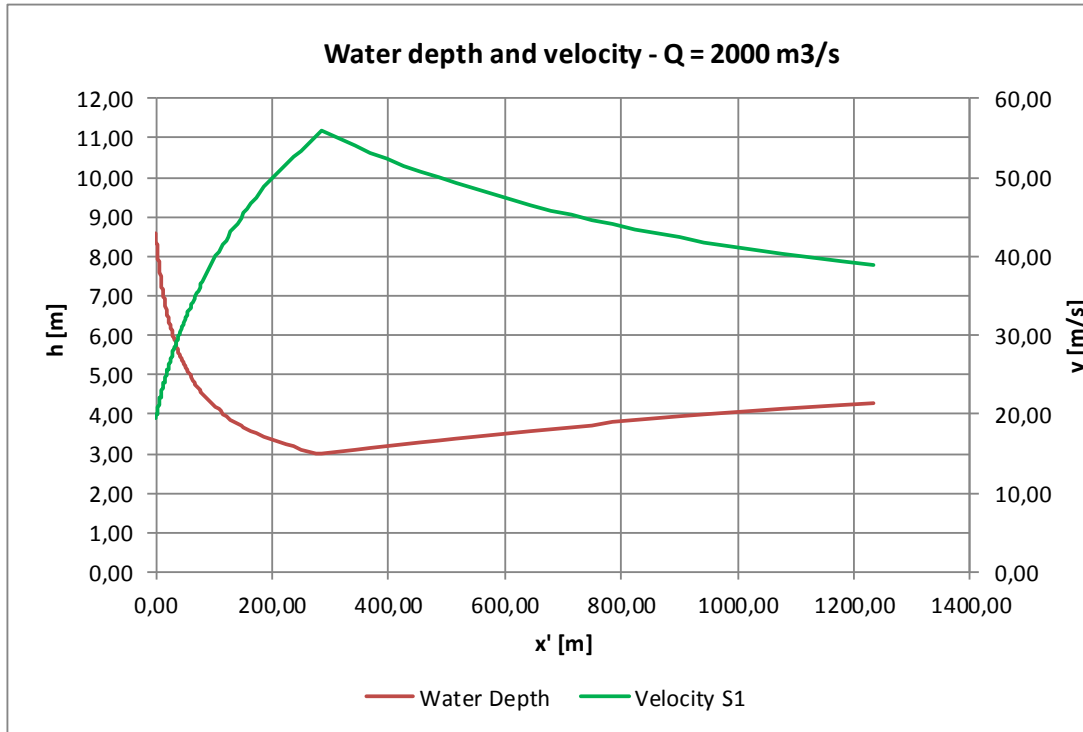
Расчеты были сделана на основе чертежей тоннеля после поверхностного водосброса Нурека, посланные Барки Точик Консультанту 20 августа 2013 года.

Расчеты были сделаны для 3 разных потоков: 2 000 м³/с, 2 400 м³/с; 2 800 м³/с.

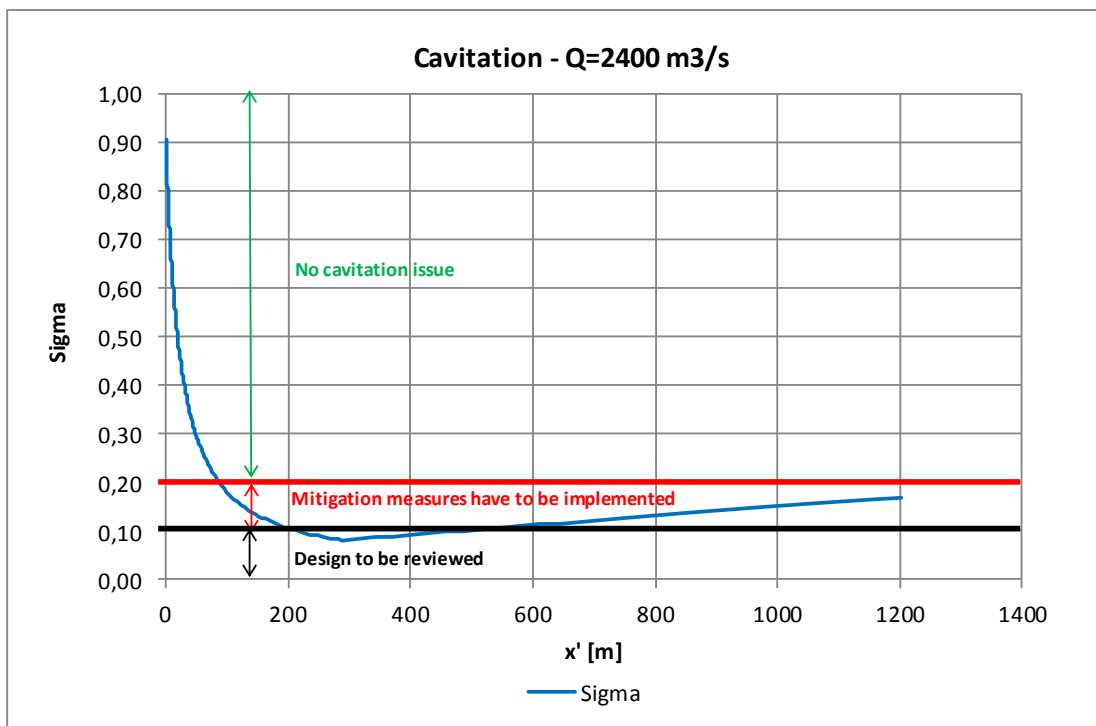
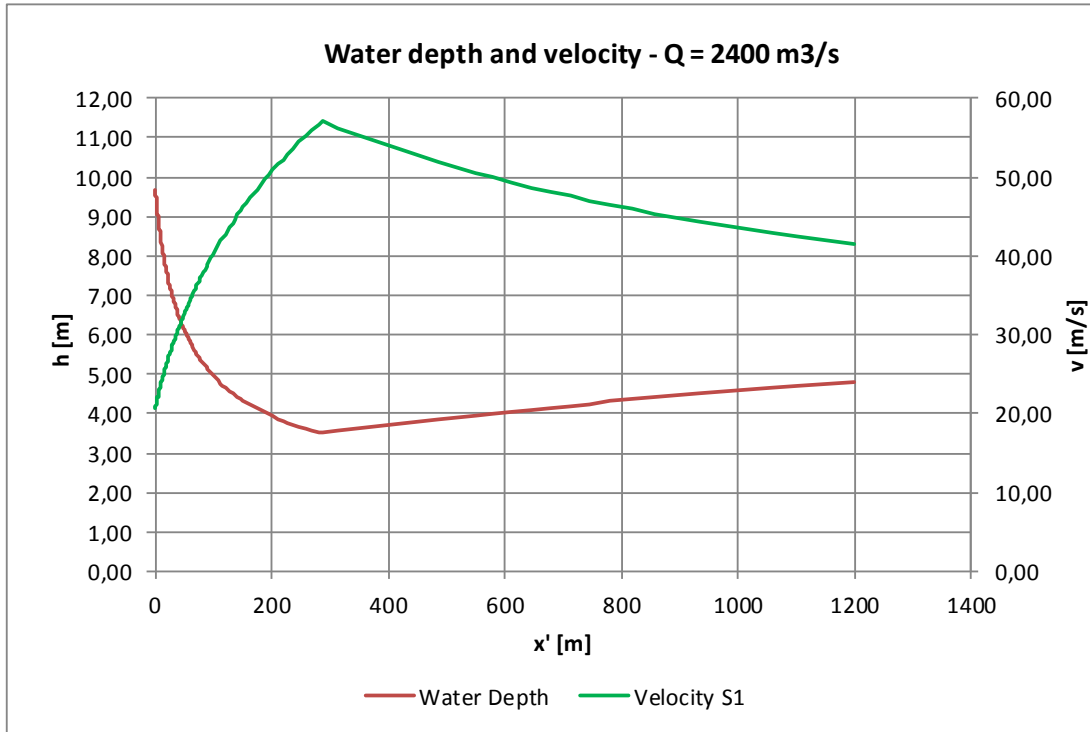
Для каждого потока, один график представляет скорость и глубину воды вдоль тоннеля и один график представляет коэффициент кавитации.

Для коэффициента кавитации считается, что для значений выше чем 0,2 нет никакого риска кавитации, для значений между 0,1 и 0,2 должны быть реализованы специальные меры, что предотвратить повреждения, связанные с кавитацией. Для значений меньше, чем 0,1 считается, что проекта должен быть пересмотрен.

Q= 2000 m³/s



Q= 2400 m³/s



Q= 2800 m³/s

