

## Анализ и оценка безопасности гидротехнических сооружений Верхнебалкарской малой гидроэлектростанции

*С.О. Курбанов, А.А. Созаев, С.М. Жемгуразов*

*Кабардино-Балкарский государственный  
аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик*

**Аннотация:** В статье приводятся материалы анализа и оценки безопасности гидротехнических сооружений в составе Верхнебалкарской МГЭС, выполненные для проекта приостановки и консервации ГТС Верхнебалкарской МГЭС на р. Черек Балкарский в КБР. Широкий и подробный анализ причин и факторов внешнего воздействия природного и техногенного характера на сооружения позволил определить, что наиболее опасными являются физико-геологические процессы, развитые на сложной, горной и стесненной территории строительства Верхнебалкарской МГЭС. Установлено, что уровень безопасности ГТС Верхнебалкарской Малой ГЭС на момент проведения обследования можно оценить как нормальный, значения всех контролируемых показателей, не превышают установленных критериев безопасности. Разработанные и реализованные проектные решения на период приостановки строительства и стадию консервации позволяют обеспечить прочность, устойчивость и сохранность конструкций, а также безопасность объекта и строительной площадки для населения и окружающей среды.

**Ключевые слова:** гидротехническое сооружение, малая гидроэлектростанция, безнапорный деривационный туннель, отстойник, деривационный лоток, физико-геологический процесс, оценка риска, коэффициент опасности, возможный ущерб при аварии, количественная оценка опасности, пренебрежимый риск.

Гидротехнические сооружения Верхнебалкарской МГЭС расположены в Черекском районе Кабардино-Балкарской Республики, на правом берегу р. Черек Балкарский, в 6 км выше села Верхняя Балкария. В настоящее время строительство объекта приостановлено, построенные гидротехнические сооружения находятся в консервации.

Створ гидроузла расположен на реке в 6,5 км выше поселка Верхняя Балкария. Водозаборный гидроузел плотинного типа, предусмотренный по проекту, не построен. Водосбросные сооружения гидроузла также не построены. Деривационный туннель и лоток рассчитаны на пропуск максимального расхода  $30 \text{ м}^3/\text{с}$ , расчетный расход  $20 \text{ м}^3/\text{с}$ . На р. Черек Балкарский выше створа отсутствуют гидроузлы и водохранилища.

Протяженность реки от истока до устья – 37 км. Водосборная площадь - 410 км<sup>2</sup>. Максимальные расчетные расходы р. Черек Балкарский различной вероятности превышения (%) в створе водозабора составляют:

0,5% – 149 м<sup>3</sup>/с;    1,0% – 139 м<sup>3</sup>/с;  
3,0% – 124 м<sup>3</sup>/с;    10,0% – 106 м<sup>3</sup>/с.

По проекту в состав гидротехнических сооружений Верхнебалкарской МГЭС входят: водозаборный узел; безнапорный туннель; отстойник; безнапорный деривационный лоток; напорный трубопровод; стационарный узел. В состав водозаборного узла входят: водозаборная траншея; промывной лоток; бетонная плотина.

Класс капитальности основных сооружений МГЭС – III.

Тип сооружения: деривационная малая гидроэлектростанция (МГЭС).

Год начала строительства - 2012г.

К моменту начала консервации из вышеперечисленных ГТС построены следующие сооружения (*по акту №1 инвентаризации выполненных работ по строительству Верхнебалкарской МГЭС*):

1. Безнапорный туннель от т.Т1+11,50 до выходного портала в полном объеме, включая монолитную железобетонную обделку и стальную облицовку (акт приемки законченного строительства объекта от 0.04.2014г.);
  2. Выходной портал в полном объеме;
  3. Временный выход из туннеля на поверхность в районе входного портала;
  4. Котлован отстойника с ж/б элементами основания и сопрягающих участков;
  5. Котлован деривационного лотка от ПК0 до ПК9+01,13 и железобетонные секции деривационного лотка от С-1 до С-41, общей длиной 883,28 м.
-

В створе водозабора участок реки имеет относительно широкое русло и небольшую пойму, с абсолютными отметками поверхности земли 1376.5 – 1377.5 м.

Пойма и русловая часть долины сложена современными аллювиальными валунно-галечными отложениями (ИГЭ-1), борта сложены делювиально-пролювиальными отложениями (ИГЭ-3). В створе реки сооружения не построены. На правом от створа скальном берегу построен безнапорный туннель, общей длиной около 270 м, в массиве коренных интрузивных пород. Входной и выходной порталы располагаются в зоне выветривания и разгрузки (ИГЭ-6а), мощностью 20-25 м. Основной объем туннеля проходит в относительно сохранных гранитах (ИГЭ-6).

За выходным порталом туннеля устроен котлован отстойника в полном объеме. В основании сооружений отстойника залегают аллювиальные, флювиогляциальные отложения (ИГЭ-5) и граниты (ИГЭ-6а), в бортах выемки – делювиально-пролювиальные (ИГЭ-3) и аллювиальные, флювиогляциальные отложения (ИГЭ-5).

За отстойником построен деривационный лоток из ж.б. секций прямоугольного сечения, длина лотка 883,28 м. На всем протяжении деривационный железобетонный лоток с постоянным уклоном 0,001 проходит в выемке глубиной до 11 м по оси трассы. В основании сооружений отстойника залегают аллювиальные, флювиогляциальные отложения и граниты, в бортах выемки – делювиально-пролювиальные и аллювиальные, флювиогляциальные отложения. Практически на всем участке размещения деривационного лотка, в составе делювиально-пролювиальных отложений, присутствуют включения крупных глыб магматических пород размером более 1м<sup>3</sup> в количестве до 70%.

Расчетная плотность грунтов 1,95 г/см<sup>3</sup>.

Водный режим р. Черек определяется таянием ледников и высокогорных снегов в верхней части бассейна. Роль дождей и грунтовых вод в питании сравнительно невелика. Ход уровня воды р. Черек характеризуется растянутым половодьем, проходящим в теплую часть года (IV-X) и низкой устойчивой меженью (XI-III), во время которой проходят наименьшие в году расходы воды. Дождевые паводки, накладывающиеся на половодную волну, придают гидрографу гребенчатый характер. Подъем уровня воды начинается обычно в апреле и продолжается с возрастающей интенсивностью до июля. Изредка, при выпадении сильных дождей, максимум наступает в июне (1948, 1958 г.г.). Наивысшие уровни чаще всего приходится на вторую половину июля – начало августа (1953, 1963, 1983 г.г.), после чего наступает интенсивный спад, продолжающийся до сентября-октября. В среднем продолжительность половодья на р. Черек составляет 6 месяцев. Ледовый режим на реке характеризуется неустойчивостью, возможны образования заберег, шугохода и изредка ледохода. При определении параметров кривой обеспеченности годового стока р. Черек Балкарский в расчетном створе использована зависимость модуля годового стока от средней высоты водосбора, построенная для бассейна р. Черек. В соответствии с особенностями гидрологического режима в годовом ходе стока реки Черек выделено два сезона: весенне-летний, в который проходит до 80-90% годового стока (IV-X) и меженный (X-III), сток которого составляет 10-15% от годового. Параметры кривой обеспеченности и средние годовые расходы воды различной обеспеченности приведены в таблице 1.

Максимальные расходы воды р. Черек наблюдаются в летний период и обусловлены интенсивным таянием снежников и ледников в сочетании с проходящими дождями. Средняя дата наступления максимальных расходов воды – конец июля – начало августа, реже эта дата приходится на июнь. Для обеспечения сохранности сооружений и исключения несанкционированного

---

доступа внутрь объекта ГТС в соответствии с разработанной генеральным проектировщиком проектной документацией выполнены следующие мероприятия по консервации ГТС.

Таблица №1

Параметры кривой обеспеченности и средние годовые расходы воды

Параметры кривой распределения вероятности превышения максимальных расходов воды			Расходы воды, м <sup>3</sup> /с, различной вероятности превышения, P %							
$Q_{\max, \text{ср. мнг}}$ м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$C_s$	0,01 с г.п.	0,01	0,1	0,5	1	3	5	10
80,7	0,24	4 $C_v$	234	208	173	149	139	124	116	106

Безнапорный туннель построен в полном объеме. Временный выход из туннеля в районе входного портала разработан до проектного профиля, возведен железобетонный входной портал в соответствии с утвержденной проектной документацией. Для исключения затопления туннеля при прохождении паводковых расходов по реке Черек Балкарский на расстоянии 12 м от входного портала установлена временная железобетонная перемычка, толщиной 0,5 м. Арматурные стержни перемычки в верхней части приварены к обнаженной арматуре туннеля, а в нижней части и стенах к уголкам, приваренным к стальной облицовке. Выполнена обратная засыпка входного портала безнапорного туннеля в соответствии с комплектом рабочих чертежей. Для исключения несанкционированного доступа в туннель со стороны выходного портала на расстоянии 2 м от выхода установлена стальная решётка, в которой предусмотрена запирающаяся калитка.

За скальным выступом ниже выходного портала туннеля устроен котлован четырехкамерного отстойника в полном объеме. Для восстановления федеральной дороги Урвань-Уштулу на участке размещения отстойника возведены его бетонные конструкции на высоту, позволяющую

отсыпать дорогу до проектных отметок. Для обеспечения отвода дождевых вод с площадки отстойника через выход из промывной галереи выполнена засыпка котлована валунно-галечным грунтом до отметки 1366,47 м.

Выполнена выемка под котлован деривационного лотка от ПК0 до ПК9+01,13, произведено устройство железобетонных секций деривационного лотка от С-1 до С-41, общей длиной 883,28 м. На всем протяжении деривационный железобетонный лоток с постоянным уклоном 0,001 проходит в выемке глубиной до 11 м по оси трассы. Начиная с ПК4+79,02 до ПК8+94 железобетонный лоток шириной по дну 4,6 м и высотой 4,8 м выполняется в выемке с последующей обратной засыпкой на высоту 3,70 м. Лоток разрезан на секции деформационно-осадочными швами толщиной 1 см. Длина типовых секций 25,00 м.

Для обеспечения сохранности деривационного лотка выполнены следующие мероприятия по его консервации:

1) Выполнена обратная засыпка деривационного лотка в соответствии с утверждённой проектной документацией:

- на участке от ПК0+01,03 до ПК1+55,80, где возможны осыпи, и на селеопасном участке ПК1+55,80 до ПК4+86,15 лоток выполненный в виде закрытого короба, засыпан до проектных отметок с устройством крепления крупным камнем. При выполнении обратной засыпки второго этапа в месте фактического расположения ручья Тарташла организовано трапецеидальное русло шириной 10 м, глубиной 2, заложения откосов 1:2. Толщина засыпки из крупнообломочного грунта ниже дна русла принята не менее 6 м.

- на участке от ПК4+86,15 до ПК8+84,31 засыпаны пазухи между железобетонным лотком и откосами котлована на высоту до 3,70 м.

2) На открытом участке деривационный лоток шириной по дну 4,6 м и высотой 4,8 м перекрыт сборными железобетонными плитами, связанными между собой.

---

3) Вход в секцию 1, секции, примыкающие к холостому водосбросу, выход из секции 41 засыпаны валунно-галечным грунтом.

Для организации проезда через холостой водосброс в месте его пересечения с федеральной дорогой Урвань-Уштулу, возведена секция 1 холостого водосброса. На восстанавливаемом участке федеральной дороги «Урвань-Уштулу» в месте пересечения дороги с ручьем Тарташла на ПК 6+04 возведено водопропускное сооружение.

От входного портала туннеля до выходного участка отстойника вдоль дороги предусмотрены берегоукрепительные мероприятия, представляющие собой защитную призму из крупнообломочного материала.

Средства измерений и контроля (КИА) по проекту консервации ГТС, не предусмотрены, так как сооружения не достроены и не вводились в эксплуатацию.

*Основные причины и факторы, связанные с внешними воздействиями природного и техногенного характера.*

Наиболее опасными физико-геологическими процессами, развитыми на территории предполагаемого строительства Верхнебалкарской МГЭС, являются:

- сели (водозаборный узел, деривационный тракт, здание ГЭС);
- лавины (водозаборный узел);
- обвалы, осыпи (деривационный тракт);
- боковая речная эрозия (площадка здания ГЭС);
- землетрясения.

*Сели.* По результатам обследований, выполненных специалистами МГУ, в пределах площадки проектируемой Верхнебалкарской МГЭС выделено несколько селеопасных участков. Объемы возможных селей колеблются от 5-10 тыс. м<sup>3</sup> до 1000 тыс. м<sup>3</sup>, периодичность от нескольких лет до нескольких десятилетий. Наиболее опасными для проектируемых

---

сооружений являются селевые участки р. Тарташла, Гюльчису, Сулдурсу, Курукол, Тютюнсу, Измялцысу (рисунок 1).



Рис. 1. – Основные сложные участки:

1-4 – участки возможного схода селей; 5 – участок возможного схода селеподобных паводков

К середине июля 2011 г. в высокогорной и среднегорной зоне Центрального Кавказа после серии дождей сложилась селеопасная ситуация, в результате которой в период с 15 по 22 июля в разных местах произошел групповой сход селевых потоков ливневого и гляциоливневого генезиса.

В июле 2011 г. произошел сход селей по р. Сулдурсу, Тарташла и Гюльчису. Наиболее значительный объем селевых масс (более 200 тыс. м<sup>3</sup>) сошел по р. Гюльчису.

Для предотвращения аварий и разрушений сооружений МГЭС проектом предусматривается комплекс мер по защите от селей.

*Лавины.* По результатам инженерно-геологического обследования, в районе размещения водозаборного узла, зафиксирован лавинный лоток, расположенный на левом берегу, в нижнем бьефе.

Объем лавин на данном участке невелик, они не доходят до русла реки и не окажут влияния на сооружения при правобережном размещении.

*Обвалы, осыпи.* Развиты в присклоновой части долины и могут активизироваться при сейсмическом воздействии. Крупный обвал-осыпь зафиксирован на участке проектируемого отстойника, начального участка деривационного канала.

Для защиты от возможных обвалов, деривационный канал-лоток на опасных участках необходимо выполнить в виде короба, с последующей засыпкой.

*Боковая речная эрозия.* Площадка проектируемой станции находится в пойме реки Черек Балкарский. Сели, зарождающиеся в верховьях, затем теряют энергию и доходят сюда в виде селеподобных паводков, которые могут повлиять на площадку станции. Для предотвращения размыва пристанционной площадки предусмотрено берегоукрепление.

*Землетрясения.* Результаты сейсмического микрорайонирования расчётным методом спектральных характеристик с учетом уточненной исходной интенсивности сейсмических воздействий показали следующее:

На участках основных сооружений колебания грунтов характеризуются распределением максимальной сейсмической интенсивности в целочисленных значениях в пределах: VIII - IX баллов по шкале MSK-64.

По проекту расчет риска аварии для гидротехнических сооружений Верхнебалкарской МГЭС проводился согласно положений Методических рекомендаций [4], согласованных с МЧС России.

---

Интегральная количественная оценка опасности ГТС, напорного фронта, включая возможный ущерб при аварии и образовании волны прорыва, характеризуется коэффициентом опасности  $\lambda$ , определяемым по формуле:

$$\lambda = \sum_{i=1}^4 \delta_i \cdot a_i \cdot \lambda_0 \quad (1)$$

где:  $\delta_i$  – коэффициент значимости  $i$ -го показателя опасности, определяемый по таблице 11.1 [4];  $a_i$  – значение кода  $i$ -го показателя опасности, определяемое по таблице 6 [4];  $\lambda_0$  – нормирующий множитель, определяемый по справочным данным [4].

Оценка степени риска гидродинамической аварии на ГТС Верхнебалкарской МГЭС показала, что по всем событиям риск является **пренебрежимым** (см. таблицу №2) и в проведении каких-либо дополнительных мероприятий по снижению риска нет необходимости.

По проекту при оценке степени риска не учитывался фактор активного противодействия эксплуатационного персонала развитию гидродинамической аварии. При наличии такого противодействия имеется возможность, как предотвращения возникновения гидродинамической аварии, так и причиненного ущерба. Максимальное значение вероятности аварии ГТС и оценка степени риска аварии ГТС (находящихся в стадии консервации) будет пересчитаны при разработке декларации безопасности ГТС с учетом консервации построенных сооружений.

### **Заключение**

Уровень безопасности ГТС Верхнебалкарской Малой ГЭС на момент проведения настоящего обследования можно оценить как нормальный, значения всех контролируемых показателей, установленных в Декларации безопасности на стадии проекта, не превышают установленных критериев безопасности, фактически построенные сооружения выполнены в

---

соответствии с проектом, выполняются предусмотренный проектом консервации мониторинг ГТС.

Таблица № 2

Оценка степени риска

Частота реализации опасности	Критический	Значительный	Серьезный	Незначительный	Ничтожный
	Погибло более одного человека, имеются пострадавшие	Погиб один человек, имеются пострадавшие	Никто не погиб	Никто серьезно не пострадал, имеются случаи временной потери трудоспособности	Заметные последствия отсутствуют
Многочисленные					
Отдельные					
Единичные					
Возможные					
Маловероятные			A1; A2; A3		
Редкие					
Уникальные					



Неприемлемый риск

Необходимы неотложные меры по снижению риска



Приемлемый риск

Необходима количественная оценка данных опасностей и обоснование эффективности возможных мер по снижению риска

Пренебрежимый риск

В каких-либо мероприятиях по снижению риска данных опасностей нет необходимости

Объект полностью защищен и готов к локализации и ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций на ГТС.

Разработанные и реализованные проектные решения на период приостановки строительства и стадию консервации позволяют обеспечить прочность, устойчивость и сохранность конструкций, а также безопасность объекта и строительной площадки для населения и окружающей среды.

### Литература

1. Гидротехнические сооружения / Под ред. Л.Н. Рассказова. М.: Издательство АСВ, 2008. 575 с.
2. Стефанишин Д.В., Шульман С.Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений. СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1991. 52 с.
3. Материалы по проектно-изыскательским работам «Верхнебалкарская МГЭС на р. Черек Балкарский в Кабардино-Балкарской республике». М.: Институт Гидропроект, 2011. 148с.
4. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов. Утв. ФГУП НИИ ВОДГЕО 01.01.2001. М.: Моспромпроект, 2001. 21с.
5. Курбанов С.О., Ханов Н.В. К гидравлическому расчету наивыгоднейших сечений энергетических каналов полигонального профиля // Гидротехническое строительство. 2003. № 7. С. 40-43.
6. Курбанов С.О., Созаев А.А. Основы проектирования и расчетного обоснования транзитных лотков полигонального профиля // Вестник ВолгГАСУ. Серия: Строительство и архитектура. 2010. Выпуск 19(38). С. 136-142.
7. Овчинникова С.В., Присс О.Г. Проведение инженерно-геологических изысканий под разработку рабочей документации для

строительства эстакады на Невинномысской ГРЭС // Инженерный вестник Дона, 2016, №4 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3951](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3951).

8. Ассайра Маруф Мохаммед. К вопросу об эффективной оценке и управлении рисками и неопределенностью в инвестиционно-строительном комплексе // Инженерный вестник Дона, 2017, №2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4275](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4275).

9. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Problems of Ecological Safety and Reliability of Operations of Regulated River Channels and Protective River Structures // Eastern European Scientific Journal. Dusseldorf (Germany): AURIS Kommunikations und Verlagsgesellschaft mbH. 2015. № 10 (2). Pp. 119-124.

10. Lysenko P.E. Evaluation of durability and failure probability of hydraulic structures affected by random pulsation process of hydrodynamic load // Proc. XXth IAHR Congress. Moscow, 1983. Vol.3. Pp. 537-546.

### References

1. Hidrotehniicheskie sooruzhenija [Construction of hydraulic]. Pod red. L.N. Rasskazova. M.: ASV, 2008. 575 p.

2. Stefanishin D.V., Shul'man S.G. Problemy nadezhnosti gidrotehniicheskikh sooruzhenij [Problems of reliability of hydraulic structures]. SPb.: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1991. 52 p.

3. Materialy po proektno-izyskatel'skim rabotam. Verhnebakarskaja MGJeS na r. Cherek Balkarskij v Kabardino-Balkarskoj respublike [Materials on design-prospecting works "Verhnebakarsky SHPP on the river Cherek in Kabardino-Balkar-Balkar Republic"]. M.: Institut Hidroproekt, 2011. 148 p.

4. Metodicheskie rekomendacii po ocenke riska avarij gidrotehniicheskikh sooruzhenij vodohranilishh i nakopitelej promyshlennyh othodov [Guidelines for accident risk assessment of hydraulic structures of water reservoirs and storage of industrial waste]. M.: Mospromproekt, 2001. 21p.

---



5. Kurbanov S.O., Hanov N.V. *Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo*. 2003. № 7. Pp. 40-43.
6. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. *Vestnik Volg-GASU. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2010. Vypusk 19(38). Pp. 136-142.
7. Ovchinnikova S.V., Priss O.G. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2016, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3951](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3951).
8. Assajra Maruf Mohammed. *Inženernyj vestnik Dona (Rus)*, 2017, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4275](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4275).
9. Kurbanov S.O., Sozaev A.A. Problems of Ecological Safety and Reliability of Operations of Regulated River Channels and Protective River Structures. *Eastern European Scientific Journal*. Dusseldorf (Germany): AURIS Kommunikations und Verlagsgesellschaft mbH. 2015. № 10 (2). Pp. 119-124.
10. Lysenko P.E. Evaluation of durability and failure probability of hydraulic structures affected by random pulsation process of hydrodynamic load. *Proc. XXth IAHR Congress*. Moscow, 1983. Vol.3. Pp. 537-546.