

## К оценке вероятности перелива воды через гребень плотины

*Д.т.н., ведущий научный сотрудник Д.В. Стефанишин,  
Институт телекоммуникаций и глобального информационного пространства НАН Украины;  
д.т.н., ведущий научный сотрудник В.Б. Штильман\*,  
ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»*

**Ключевые слова:** гребень плотины; перелив воды; вероятность; дерево отказов

В соответствии с требованиями Федерального закона от 21.07.1997 г. №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений», на всех стадиях жизненного цикла гидротехнического сооружения (на стадиях проектирования, строительства, ввода в эксплуатацию, эксплуатации, вывода из эксплуатации, а также после его реконструкции, капитального ремонта, восстановления либо консервации) собственник гидротехнического сооружения или эксплуатирующая организация обязаны разработать декларацию безопасности гидротехнического сооружения (ГТС).

При составлении декларации безопасности ГТС, согласно Постановлению Правительства РФ от 06.11.1998 г. №1303 «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений» и Приказу Ростехнадзора от 03.11.2011 г. №625 «Об утверждении дополнительных требований к содержанию деклараций безопасности гидротехнических сооружений и методики их составления, учитывающих особенности декларирования безопасности гидротехнических сооружений различных видов в зависимости от их назначения, класса, конструкции, условий эксплуатации и специальных требований к безопасности», необходимо разработать сценарии возможных аварий на основании данных об авариях на аналогичных сооружениях, сведений о сооружениях и негативных изменениях их состояния, а также на основании анализа состояния различных подсистем ГТС, а также их оснований и прилегающих территорий. При этом рекомендуется осуществлять оценку уровня безопасности (риска аварии) ГТС, в том числе и количественную оценку вероятности реализации различных сценариев развития аварий и общую оценку уровня безопасности ГТС (для сооружений I, II и III классов) вероятностными методами.

В последнее время в нашей стране уделяется все больше внимания различным аспектам расчетов риска аварий гидротехнических сооружений. Особо можно выделить работы ученых ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» [1–6], а также ОАО «НИИЭС», ЗАО «ДАР/ВОДГЕО», ФГБОУ ВПО СПбГПУ и некоторых других организаций [7–11]. За рубежом проблемами оценки риска аварий ГТС начали заниматься значительно раньше, этим вопросам посвящены не только отдельные статьи и монографии [12–17], но и материалы целого конгресса [18].

Несмотря на это, до сих пор не существовало простой инженерной методики, позволяющей рассчитывать вероятность перелива воды через гребень плотины, что необходимо делать при декларировании безопасности большинства ГТС. Авторы попытались восполнить этот пробел.

Итак, оценку риска аварий (как правило, аварии, связанные с переливом через гребень плотины, являются наиболее опасными) следует начинать с разработки их сценариев. Например, для гидроузлов в горных районах следует рассматривать возможность обрушения горных массивов в водохранилище, что, в свою очередь, может привести к образованию волны и/или переполнению водохранилища и, как следствие, к переливу воды через гребень плотины. Для грунтовых плотин подобный сценарий является весьма опасным, так как может привести к гидродинамической аварии вследствие размыва плотины и образования волны прорыва.

В качестве примеров рассмотрим сценарии, приводящие к переливу через гребень на некоторых ГЭС.

Так, на Бурейской ГЭС развитие подобной аварийной ситуации возможно двумя путями:

- 1) одновременное прохождение максимального расчетного паводка, неготовность водохранилища к аккумуляции паводка и отказ одного из водопропускных сооружений, формирующих водосбросной фронт гидроузла;
- 2) одновременное прохождение максимального расчетного паводка и ограничение пропускной способности поверхностного водосброса, вызванного значительным повреждением плит водосливной поверхности.

В результате реализации этих сценариев может произойти затопление машинного зала здания ГЭС слоем воды, переливающимся через гребень, смыв в нижний бьеф загрязняющих веществ (масла, мазута и т.п.), временное прекращение выработки электроэнергии на станции.

На Чебоксарской ГЭС к переполнению водохранилища и переливу через гребень земляной плотины с размывом и образованием прорана (и, как следствие, к гидродинамической аварии с образованием волны прорыва в нижнем бьефе гидроузла) может привести пропуск расхода обеспеченностью 0,1 % неполным водосбросным фронтом из-за отключения части гидроагрегатов или невозможности открытия донных водосбросов.

На Ириклинской ГЭС к прорыву каменно-набросной плотины может привести цепочка следующих событий:

- 1) отказ двух-трех затворов водосливной плотины при пропуске половодья 0,1% обеспеченности вследствие заклинивания при подъеме или отказа козловых кранов;
- 2) перелив через противофильтрационный экран плотины;
- 3) обводнение тела плотины, сопровождающееся выносом мелких фракций и просадкой гребня;
- 4) разрушение низового откоса, образование прорана.

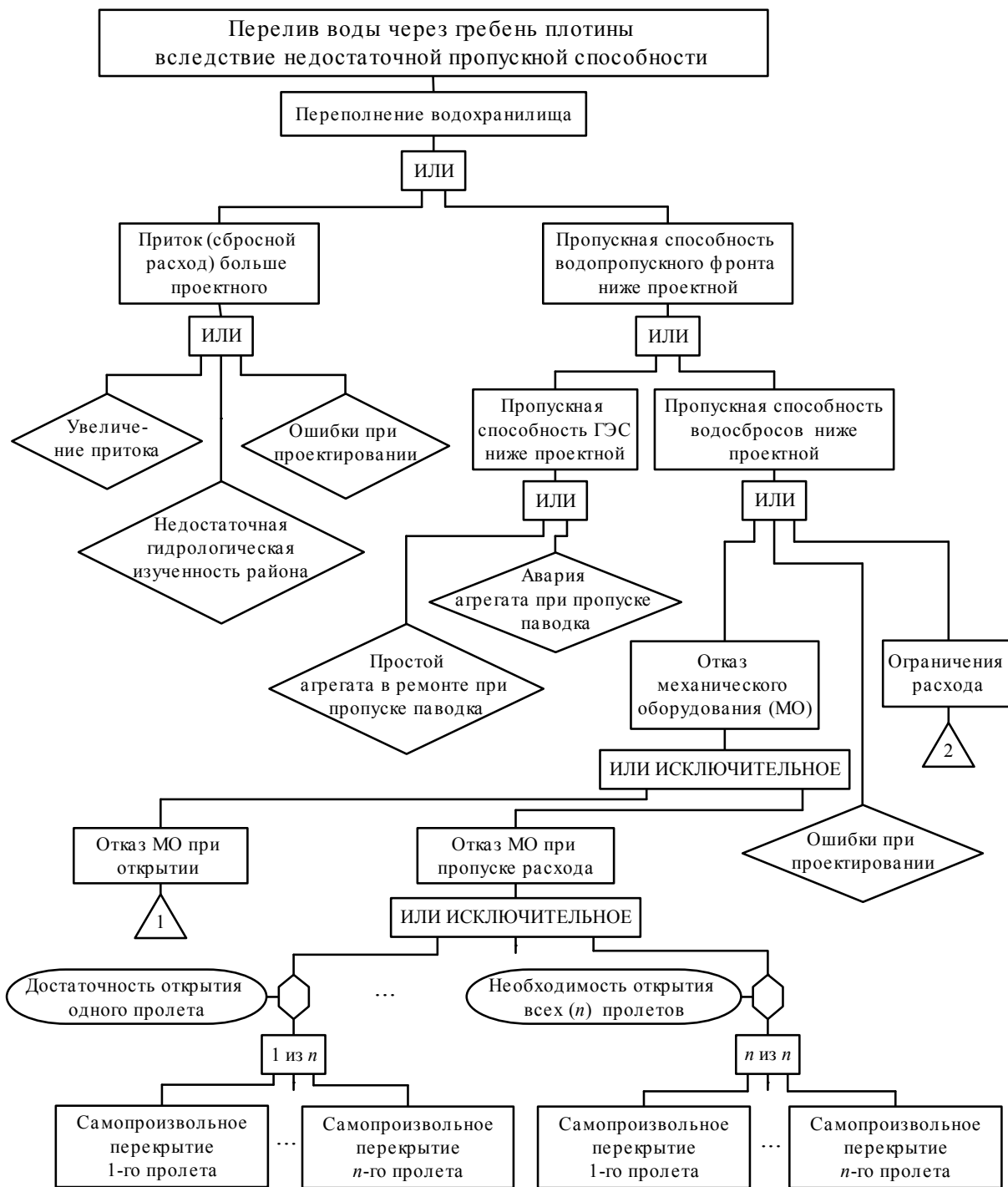
На Колымской ГЭС при прохождении расчетного паводка могут произойти либо отказ в работе затвора, либо обрушение берегового склона, либо чрезмерная просадка при замачивании гребня. Это может привести к переполнению водохранилища, в результате чего при переливе воды через гребень размоется верхняя часть плотины (высотой 5 м) из песчано-гравийного грунта, а затем и сходящаяся каменная призма на всю высоту до основания плотины, т.е. разовьется гидродинамическая авария.

Как видно из приведенных примеров, а также из исследования [19], к переполнению водохранилища и переливу воды через гребень плотины может привести несоответствие в определенный момент времени пропускной способности водопропускного фронта гидроузла (состоящего из водосбросов и гидротурбинных блоков) и требуемого сбросного расхода. К этому могут привести ошибки проектирования, недостаточная на момент проектирования гидрологическая изученность района, увеличение притока со времени проектирования и строительства гидроузла. С другой стороны, пропускная способность ГЭС может оказаться ниже проектной в момент пропуска паводка вследствие простоя агрегата в ремонте либо аварии. А пропускная способность водосбросов может оказаться ниже проектной вследствие отказа затворов (события, приводящие к отказу затворов, рассматриваются более подробно в исследовании [3]), ошибок при проектировании либо ограничения расхода из-за зимних условий, неудовлетворительного состояния водосброса, опасных местных и общих размывов нижнего бьефа, подтопления сооружений и территорий в нижнем бьефе.

В общем случае при построении сценария перелива воды через гребень плотины следует учитывать [4]:

- 1) опасности, которые могут инициировать параметрические отказы и нарушения социально-экологических требований;
- 2) условия окружающей среды, которые могут способствовать либо препятствовать реализации параметрических отказов и нарушений социально-экологических требований;
- 3) особенности гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, которые могут способствовать либо препятствовать отказам и нарушениям социально-экологических требований;
- 4) ошибки эксплуатационного персонала, которые могут быть допущены при эксплуатации объекта;
- 5) параметрические отказы ГЭС, его конструкции, конструктивных элементов, оборудования и основания, которые могут вести к реализации головного события;
- 6) непосредственные причины, которые приведут к аварии на ГЭС;
- 7) меры, которые могут быть предприняты для предотвращения либо смягчения аварийных воздействий и угроз;
- 8) условия окружающей среды, которые могут способствовать усилению аварийных воздействий и угроз;
- 9) особенности объекта и условий его эксплуатации, которые могут способствовать усилению аварийных воздействий и угроз.

Используя изложенные в [3] правила построения деревьев отказов, анализируя события, которые могут привести к переливу через гребень вследствие недостаточной пропускной способности сооружений, можно построить дерево события «Перелив через гребень» или, другими словами, дерево отказов, приводящих к переливу воды через гребень плотины вследствие недостаточной пропускной способности водопроводящих трактов. На рис. 1 оно приведено в наиболее общем виде, а условные обозначения основных логических событий и операторов, использованных при его построении, приведены в табл. 1 и 2. При анализе конкретного сооружения это дерево должно прорабатываться уже более подробно, поскольку все гидротехнические сооружения уникальны, и даже при наличии однотипных водосбросов деревья отказов окажутся различными. В то же время какие-то из ветвей или элементов приведенного дерева при анализе конкретного гидроузла могут отсутствовать.



**Рисунок 1. Дерево отказов, приводящих к переливу воды через гребень плотины вследствие недостаточной пропускной способности водопроводящих трактов (начало)**

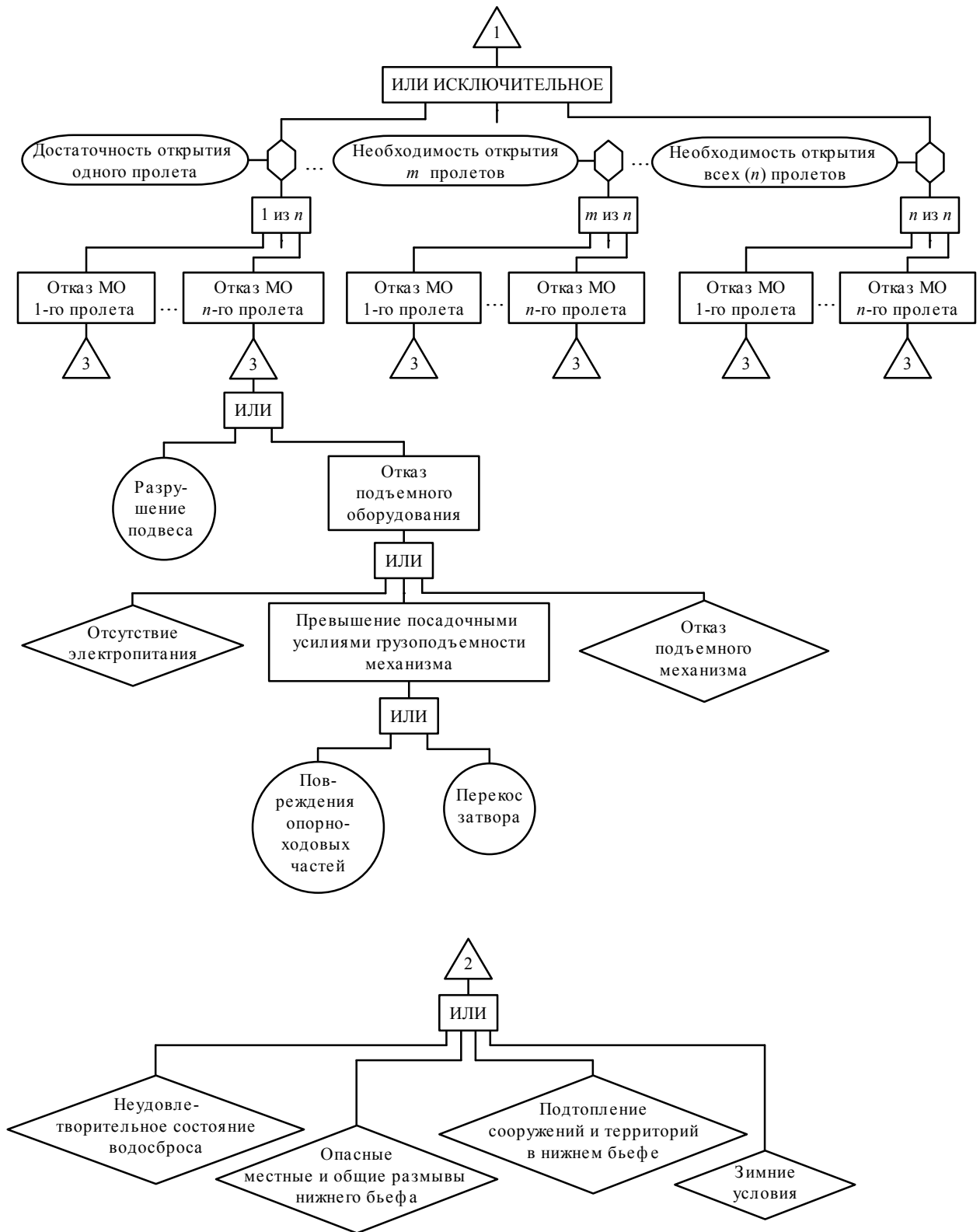


Рисунок 1. Дерево отказов, приводящих к переливу воды через гребень плотины вследствие недостаточной пропускной способности водопроводящих трактов (окончание)

Таблица 1. Условные обозначения событий

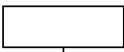
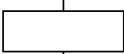

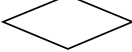

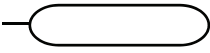

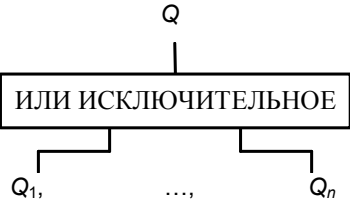
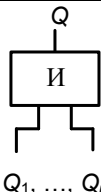
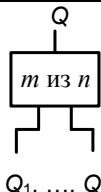
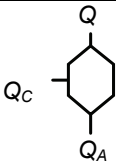
Обозначение события	Наименование события	Описание события
	Головное (вершинное) событие	Результирующее (разрабатываемое) событие дерева отказов
	Промежуточное событие	Промежуточное (разрабатываемое) событие дерева отказов, являющееся результатом действия логического оператора
	Базовое событие	Событие (отказ отдельного элемента системы), которое может инициировать происхождение промежуточного либо головного события
	Нераскрытое событие	Событие, не раскрываемое и не рассчитываемое в рамках принятой модели
	Символ переноса	Символ, отображающий перенос некоторого оператора с одной части дерева отказов в другую
	Событие-условие	Отображение условия, при котором реализуется событие-следствие

Таблица 2. Условные обозначения логических операторов

Обозначение оператора	Наименование оператора	Причинно-следственное соотношение, выражающееся оператором	Расчетная формула для оценки вероятности события-следствия Q
	«или»	Событие-следствие имеет место при наступлении хотя бы одного из n исходных независимых событий	$Q = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - Q_i)$
	«или исключительное»	Событие-следствие имеет место при наступлении любого из исходных событий, но не двух одновременно	$Q = \sum_{i=1}^n \left( Q_i \cdot \prod_{j \neq i} (1 - Q_j) \right)$
	«и»	Событие-следствие имеет место при наступлении всех исходных событий	$Q = \prod_{i=1}^n Q_i$
	«m из n»	Событие-следствие происходит при наступлении любых m из n исходных событий	$Q = \sum_{k=1}^N \prod_{i=1}^m Q_{ki}$ $N = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ $Q_{ki} = Q_1, \dots, Q_n$
	«условие»	Наступление события-следствия возможно при наступлении события-условия	$Q = Q_A Q_C$

При построении дерева отказов, приводящих к переливу воды через гребень плотины вследствие недостаточной пропускной способности водопроводящих трактов, следует учитывать, что, как правило, у водопропускных сооружений и их механического оборудования имеется сочетание неполного структурного и функционального резервирования. Например, пропускная способность водосбросного фронта обеспечивается при помощи различных водосбросных и водопропускных сооружений. Если предполагается уменьшение максимальных расходов за счет аккумуляции паводка водохранилищем, то для поддержания надежности водосбросного фронта существенную роль могут сыграть информационное и временное резервирование, а также и некоторые специфические виды неполного резервирования. Так, поскольку особенностью гидротехнических объектов является неравноценность возможных отказов различных структурных единиц, для учета значимости различных отказов можно использовать приоритет. Следуя приоритету, при анализе надежности гидротехнических объектов до первого отказа особое значение можно придать факту нарушения работоспособности более важного элемента или же возможности более тяжелого отказа.

Одним из наиболее сложных и ответственных этапов анализа надежности и безопасности сооружений и конструкций является оценка количественных показателей надежности базовых событий.

Процедура получения интегрального показателя вероятности отказа (безотказности) системы при помощи дерева отказов заключается в оценке вероятности реализации головного события (перелива воды через гребень плотины вследствие недостаточной пропускной способности сооружений) по известным априори вероятностям появления базовых событий (отказов). Вычисление вероятностей исходных событий возможно на основе методов параметрической теории надежности с учетом накопленных статистических данных о параметрах нагрузок и воздействий, показателях свойств материалов и грунтов, работоспособности отдельных элементов сооружения, режимах эксплуатации и т. п. [3–6]. Вероятности же событий-следствий (разрабатываемых событий) определяются в зависимости от действия соответствующих логических операторов по формулам, приведенным в табл. 2.

Таким образом, анализ дерева отказов дает возможность построить логическую модель возникновения и развития процессов и явлений, приводящих к переливу через гребень, причем такая модель может дать не только качественную, но и количественную информацию о вероятности перелива. Для этого после построения дерева отказов следует перейти к этапу вычисления вероятности его головного события (к оценке вероятности перелива воды через гребень плотины).

Ввиду уникальности каждого гидротехнического сооружения и сложностей в формализации процедуры анализа риска расчеты показателей риска аварий ГТС требуют наличия большого объема исходной информации о сооружении и природно-технической системе, формируемой на его основе, и являются весьма сложными и дорогостоящими. Отечественная и зарубежная практика показывает, что даже при наличии соответствующих исходных данных погрешность значений детальных вероятностных оценок риска аварий гидротехнических сооружений, как правило, не менее одного порядка. При этом основными источниками неопределенностей являются недостаточность информации о состоянии сооружения и его элементов, человеческие ошибки, особенно в нештатных ситуациях, а также неизбежные допущения и ограничения при моделировании аварийных процессов на ГТС. Однако количественные оценки риска весьма полезны, а в некоторых ситуациях и единственно допустимы, в частности, для сравнения опасностей различной природы, для обоснования эффективности мероприятий по снижению риска, для сравнения уровней опасностей ГТС между собой при выборе приоритетов по ремонту и реконструкции.

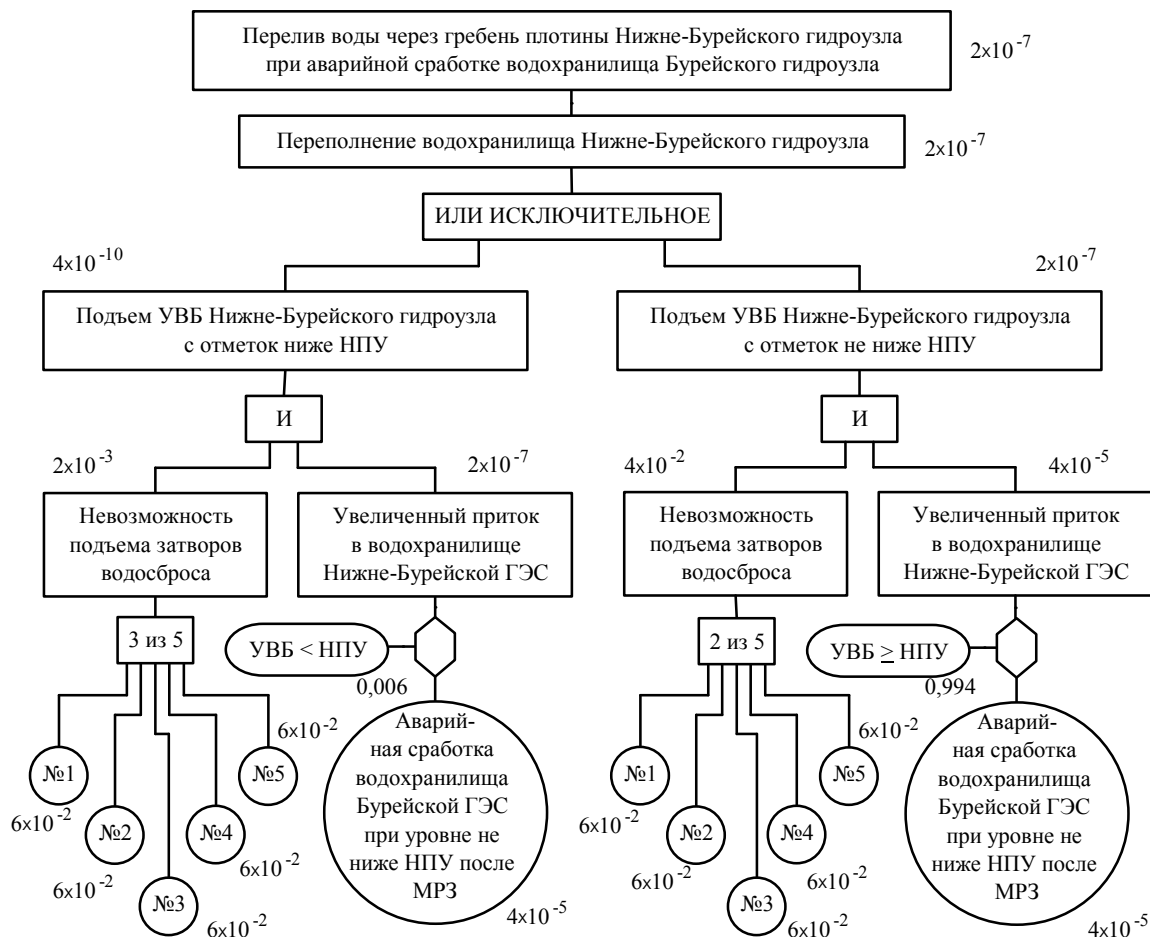
В отсутствие необходимости количественных оценок и/или достаточного объема исходных данных следует применять качественные методы анализа риска аварий ГТС, опирающиеся на известную процедуру экспертного оценивания, специальные вспомогательные средства (опросные листы, руководства) и практический опыт исполнителей.

Следует также отметить, что особенностью анализа надежности на стадии эксплуатации является то, что здесь, наряду с проектной (априорной) информацией, используются текущие и накопленные данные о состоянии и поведении исследуемого объекта. При этом полный анализ эксплуатационной надежности предусматривает и учет таких специфических факторов, как квалификация обслуживающего персонала, качество и объемы ремонтно-профилактических работ, наличие контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и достоверность данных контрольных и диагностических исследований, наличие запасных элементов и материалов для устранения отказов и неисправностей, своевременность устранения отказов и неисправностей, наличие нормативно-методических документов, инструкций по эксплуатации и т. д.

Стефанишин Д.В., Штильман В.Б. К оценке вероятности перелива воды через гребень плотины

Рассмотрим применение предлагаемого подхода на примере реализации сценария развития аварийной ситуации на Нижне-Бурейском гидроузле, связанной с переливом через гребень его плотины при аварийной сработке водохранилища Бурейской ГЭС.

Дерево отказов для оценки вероятности аварии с указанием головного события, соответствующих базовых и промежуточных событий (событий-следствий) и событий-условий приведено на рис. 2.



**Рисунок 2. Расчет дерева отказов перелива воды через гребень плотины Нижне-Бурейской ГЭС при аварийной сработке водохранилища Бурейского гидроузла**

Рассмотрим следующие базовые события и состояния: отказ при подъеме (невозможность подъема) основных затворов №1 – 5 водосброса и аварийная сработка водохранилища Бурейской ГЭС при его уровне не ниже НПУ после максимального расчетного землетрясения (МРЗ). Имеем два события-условия: УВБ Нижне-Бурейского гидроузла ниже отметки НПУ и не ниже этой отметки.

Вероятность реализации базового события, связанного с аварийной сработкой водохранилища Бурейской ГЭС,  $Q = 4 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ .

Вероятности базовых событий, моделирующих отказы (невозможность подъема) отдельных затворов на водосливной плотине при реализации сценария «Переполнение водохранилища Нижне-Бурейского гидроузла при аварийной сработке водохранилища Бурейского гидроузла в сочетании с уровнем воды в верхнем бьефе Нижне-Бурейского гидроузла, не достигающим на момент возникновения аварии нормального подпорного уровня (НПУ)», устанавливаем из расчета, что время  $t_r$ , допускаемое на восстановление работоспособности отказавшей системы «сегментный затвор – подъемный механизм» без критических последствий для гидросооружений гидроузла при данном сценарии и отказе не менее трех из пяти затворов, составляет 2 суток:

$$P(t_r) = 1 - \exp\{-\lambda t_p \exp(-\mu t_r)\}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – расчетная интенсивность отказов объекта,  $\mu$  – расчетная интенсивность восстановления его работоспособности и  $t_p$  – расчетный срок эксплуатации объекта.

В результате расчетов по формуле (1) при  $\lambda = 5 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ,  $t_p = 40 \text{ лет}$ ,  $\mu = 200 \text{ год}^{-1}$ ,  $t_r = 2 \text{ суток}$ , получаем следующие вероятности отказов затворов  $Q_{1.1} = Q_{2.1} = Q_{3.1} = Q_{4.1} = Q_{5.1} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ .

Аналогично для второго подсценария (рис. 2) с отказом не менее двух из пяти затворов время  $t_r$ , допускаемое на восстановление работоспособности отказавшей системы «сегментный затвор – подъемный механизм» без критических последствий для гидросооружений гидроузла, принимаем также равным 2 суткам. Соответственно, вероятности отказов затворов  $Q_{1.2} = Q_{2.2} = Q_{3.2} = Q_{4.2} = Q_{5.2} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ .

Определим вероятность событий-условий при сценариях «Уровень воды в верхнем бьефе Нижне-Бурейского гидроузла не достигает на момент возникновения аварии нормального подпорного уровня (УВБ < НПУ)» и «Уровень воды в верхнем бьефе Нижне-Бурейского гидроузла достигает на момент возникновения аварии НПУ (УВБ  $\geq$  НПУ)».

Отметим, что полная вероятность прохождения паводка ежегодной вероятностью превышения  $p$  в течение времени  $T_p$ :

$$P_p = 1 - (1 - p)^{T_p}. \quad (2)$$

Тогда, согласно формуле (2), вероятность того, что в течение  $T_p = 100 \text{ лет}$  случится паводок 5%-й обеспеченности, равна 0,994. Для упрощения демонстрации методики в данном примере с запасом по риску для моделирования рассматриваемых событий-условий примем вероятность заполнения водохранилища Нижне-Бурейского гидроузла до НПУ  $P(\text{УВБ} \geq \text{НПУ}) = 0,994$ . Отсюда имеем вероятность недостижения НПУ (эти два события-условия составляют полную группу событий):  $P(\text{УВБ} < \text{НПУ}) = 0,006$ .

Производя расчет дерева отказов (см. рис. 2) с учетом действия логических операторов (см. табл. 2), получим следующие вероятности событий-следствий:

- 1) вероятность отказа (невозможности подъема) не менее трех из пяти затворов, установленных на водосливной плотине, равна  $2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ ;
- 2) вероятность отказа (невозможности подъема) не менее двух из пяти затворов, установленных на водосливной плотине, равна  $4 \cdot 10^{-2} \text{ год}^{-1}$ ;
- 3) вероятность появления увеличенного притока в водохранилище Нижне-Бурейской ГЭС при УВБ < НПУ равна  $2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ ;
- 4) вероятность появления увеличенного притока в водохранилище Нижне-Бурейской ГЭС при УВБ  $\geq$  НПУ равна  $4 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ ;
- 5) вероятность подъема УВБ Нижне-Бурейского гидроузла с отметок ниже НПУ равна  $4 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ ;
- 6) вероятность подъема УВБ Нижне-Бурейского гидроузла с отметок не ниже НПУ равна  $2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ .

И окончательно получаем вероятность развития аварийной ситуации (перелива через гребень плотины Нижне-Бурейского гидроузла при аварийной сработке водохранилища Бурейской ГЭС), равную  $2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$ , что ниже допускаемого нормами для гидротехнических сооружений I класса значения уровня риска аварий  $5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$  [20]. Следовательно, можно сделать заключение о приемлемой надежности Нижне-Бурейского гидроузла по рассматриваемому критерию.

Таким образом, в настоящей статье приведено логическое развитие и расширение методики [3], позволяющей рассчитывать вероятность перелива воды через гребень плотины вследствие самых различных причин.

Показано, что с ее помощью можно рассчитывать вероятности реализации сценариев развития аварийных ситуаций на ГТС гидроузлов, а также приведено несколько разработанных сценариев аварий на ряде гидроузлов, связанных с переливом через гребень.

Показана практическая применимость методики на примере ГТС Нижне-Бурейского гидроузла.

Предлагаемая методика неоднократно была использована для решения соответствующих задач при декларировании безопасности ГТС таких объектов, как Бурейская, Миатлинская, Нижне-Бурейская, Саяно-Шушенская, Чиркейская ГЭС, Зарамагская ГЭС-1, Ленинградская ГАЭС.

Приведенные в настоящей статье основы методики позволяют, во исполнение требований ФЗ-117 «О безопасности гидротехнических сооружений», проводить оценку риска перелива воды через гребень плотины с применением метода деревьев отказов (событий). Полученное расчетом Стефанишин Д.В., Штильман В.Б. К оценке вероятности перелива воды через гребень плотины



значение вероятности реализации сценария подобной аварии необходимо сравнить с допускаемыми нормативами [20], в которых значение вероятности возникновения аварии устанавливается с учетом расчетного срока службы сооружения и его класса. В результате можно сделать вывод о соответствии значения риска аварии ГТС допустимому уровню риска.

### Литература

1. Беллендир Е.Н., Никитина Н.Я. Управление риском аварий гидротехнических сооружений — проблемы, подходы, опыт, перспективы // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. Вып. 3. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2003. С. 124-135.
2. Василевский А.Г., Добрынин С.Н., Тихонова Т.С. Методики экспертных оценок безопасности ГТС ГЭС на основе компьютерных технологий // Гидротехническое строительство. 2001. №2. С. 6-9.
3. Василевский А.Г., Штильман В.Б., Шульман С.Г. Методы оценки надежности затворов гидротехнических сооружений (системный анализ). СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2010. 530 с.
4. Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. 592 с.
5. Беллендир Е.Н., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений. Т. 1. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2003. 556 с.
6. Беллендир Е.Н., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В., Финагенов О.М., Шульман С.Г. Вероятностные методы оценки надежности грунтовых гидротехнических сооружений Т. 2. СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2004. 524 с.
7. Барабанова Е.А. Типичные случаи повреждения гидротехнических сооружений и меры по обеспечению их безопасности // Гидротехническое строительство. 1995. №3. С. 14-27.
8. Бритвин С.О., Иващенко И.Н., Семенов И.В. Основные положения концепции обеспечения безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2004. №10. С. 2-5.
9. Иващенко И.Н., Радкевич Д.Б., Иващенко К.И. Вероятностная оценка риска аварий плотин по результатам их мониторинга и обследований // Гидротехническое строительство. 2012. №7. С. 22-28.
10. Соколов В.А. Оценка технического состояния строительных конструкций зданий на основе многоуровневого вероятностного анализа // Инженерно-строительный журнал. 2011. №7(25). С. 45-51.
11. Куранов Н.П., Розанов Н.Н., Тимофеева Е.А. Расчеты риска аварий гидротехнических сооружений // Водоснабжение и санитарная техника. 2009. №1. С. 41-44.
12. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis // Int. Journal on Hydro-power and Dams. 1998. №5. Pp. 85-88.
13. Kumamoto H., Henley E.J. Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists. New York. IEEE Press, 1996. 597 p.
14. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates // Proceedings Supplement: Repair and upgrading of dams, Stockholm, Sweden. June 5-7, 1996. Pp. 362-373.
15. Salmon G.M., Hartford D N D. Risk analysis for dam safety: Part I, II. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts. 1995. №47(3). Pp. 42-47.
16. Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M. Statistics of dam failures: a preliminary report // Int. Water Power & Dam Construction. 1989. Vol. 41. №4. Pp. 30-34.
17. Silveira A.F. Deterioration in dams and reservoirs // Proc. of the 20-th IAHR Congress. 1983. Vol. 2. Pp. 443-456.
18. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management // Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. Beijing, China. 19-22 September. 2000. Vol. 1. Q. 76, 896 p.
19. Бобков С.Ф., Боярский В.М., Векслер А.Б., Швайнштейн А.М. Основные факторы учета пропускной способности гидроузлов при декларировании их безопасности // Гидротехническое строительство. 1999. №4. С. 2-10.
20. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003). М.: Минрегион России. 2012. 39 с.

\* Владимир Борисович Штильман, Санкт-Петербург, Россия  
Тел. раб.: +7(812)493-93-78; эл. почта: [shtilmanvb@vniig.ru](mailto:shtilmanvb@vniig.ru)

© Стефанишин Д.В., Штильман В.Б., 2012

doi: 10.5862/MCE.35.9

## Towards assessing the probability of water overflow across the dam crest

**D.V. Stefanyshyn,***The Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine;***V.B. Shtilman,***JSC Vedeneyev VNIIG, Saint-Petersburg, Russia  
+7(812)493-93-78; e-mail: ShtilmanVB@vniig.ru*

### Key words

dam crest, water overflow, probability, fault tree

### Abstract

According to the Federal law № 117-FZ "On the safety of hydraulic structures", an owner of a hydraulic structure has to develop a declaration of safety of the dam. It should include the potential accident scenarios with assessment of the probabilities of their realization.

The methodology of the development of scenarios and the water overflow probability that is one of the basic causes of the emergency situations at the dams is given in the study.

The causes of the spillway failure and most frequent events leading to the failures or disturbances of the spillway structures are analyzed.

The probability assessment of the water overflow across the dam crest using the fault tree method is given. Within the framework of this method various heuristic procedures may be most adequately realized and for the probabilistic assessment of the basic events the methods of the statistical and / or expert's reliability assessment may be used besides the parametric reliability theory methods. Such an approach permits to unify the procedure of the probabilistic assessment of the water overflow across the dam crest.

The general form of the event tree "Overflow across the crest" or in other words fault tree that leads to the water overflow across the dam crest is presented.

The application of this approach is illustrated by an example of estimating the probability of the scenario of an emergency related to the overflow the reservoir on the Lower Bureya HPP in case of emergency release from the reservoir of the Bureya HPP.

The analysis of the fault tree makes it possible to form a logical model of the origination and the development of the complex processes and phenomena leading to the water overflow across the dam crest and permits to make the quantitative and the qualitative analysis of the event with the assessment of the overflow probability.

### References

1. Bellendir E.N., Nikitina N.Ya. *Problemy bezopasnosti pri chrezvychainykh situatsiyah* [Safety problems in emergency situations]. Vol. 3. St. Petersburg: Izd-vo OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". 2003. Pp. 124-135. (rus)
2. Vasilevsky A.G., Dobrynin S.N., Tihonova T.S. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2001. No. 2. Pp. 6-9. (rus)
3. Vasilevsky A.G., Shtilman V.B., Shulman S.G. *Metody otsenki nadezhnosti zatvorov gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (sistemnyy analiz)* [Methods for assessing of the reliability of the gate hydraulic structures (systems analysis)]. St. Petersburg: Izd-vo OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". 2010. 530 p. (rus)
4. Veksler A.B., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V. *Nadezhnost, socialnaya i ekologicheskaya bezopasnost gidrotekhnicheskikh ob'yektov: ocenka riska i prinyatie resheniy* [Reliability, social and environmental safety of hydraulic structures: risk assessment and decision making]. St. Petersburg: Izd-vo OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". 2002. 592 p. (rus)
5. Bellendir E.N., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Finagenov O.M., Shulman S.G. *Veroyatnostnyye metody ocenki nadezhnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Probabilistic methods of assessment of reliability of soil hydro-engineering structures]. Vol. 1. St. Petersburg: Izd-vo OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". 2003. 556 p. (rus)

Stefanyshyn D.V., Shtilman V.B. Towards assessing the probability of water overflow across the dam crest

6. Bellendir E.N., Ivashintsov D.A., Stefanishin D.V., Finagenov O.M., Shulman S.G. *Veroyatnostnyye metody ocenki nadezhnosti gruntovykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Probabilistic methods of assessment of reliability of soil hydro-engineering structures]. Vol. 2. St. Petersburg: Izd-vo OAO "VNIIG im. B.E. Vedeneeva". 2004. 524 p. (rus)
7. Barabanova E.A. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 1995. No. 3. Pp. 14-27. (rus)
8. Britvin S.O., Ivaschenko I.N., Semenov I.V. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2004. No. 10. Pp. 2-5. (rus)
9. Ivaschenko I.N., Radkevich D.B., Ivaschenko K.I. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 2012. No. 7. Pp. 22-28. (rus)
10. Sokolov V.A. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No. 7(25). Pp. 45-51. (rus)
11. Kuranov N.P., Rozanov N.N., Timofeeva E.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2009. No. 1. Pp. 41-44. (rus)
12. Hoeg K. New dam safety legislation and the use of risk analysis. *Int. Journal on Hydro-power and Dams*. 1998. No. 5. Pp. 85-88.
13. Kumamoto H., Henley E.J. *Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists*. New York: IEEE Press, 1996. 597 p.
14. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates. *Proceedings Supplement: Repair and upgrading of dams*. Stockholm, Sweden. June 5-7, 1996. Pp. 362-373.
15. Salmon G.M., Hartford D N D. Risk analysis for dam safety: Part I, II. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts*. 1995. No. 47(3). Pp. 42-47.
16. Serafim J.L., Coutinho-Rodrigues J.M. Statistics of dam failures: a preliminary report. *Int. Water Power and Dam Construction*. 1989. Vol. 41. No. 4. Pp. 30-34.
17. Silveira A.F. Deterioration in dams and reservoirs. *Proc. of the 20-th IAHR Congress*. 1983. Vol. 2. Pp. 443-456.
18. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. *Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams*. Beijing, China. 19-22 September. 2000. Vol. 1. Q. 76, 896 p.
19. Bobkov S.F., Boyarsky V.M., Veksler A.B., Shvainshtein A.M. *Gidrotekhnicheskoe stroitelstvo*. 1999. No. 4. Pp. 2-10. (rus)
20. SP 58.13330.2012 *Gidrotekhnicheskies sooruzheniya. Osnovnye polozeniya (aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 33-01-2003)* [Hydraulic structures. Basic Provisions (updated by the editorial of SNIIP 33-01-2003)]. Moscow: Minregion Rossii. 2012. 39 p. (rus)

**Full text of this article in Russian: pp. 70-78**