

# **ДЕРЕВО ОТКАЗОВ И ПРИМЕРЫ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ РИСКА АВАРИЙ КОНКРЕТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

Выполнила Борова Ю. 1-127

через трещины, потеря устойчивости, фильтрационная проницаемость, для водосбросных сооружений - отказ затворов и т. д.). Возможные физические события и процессы, способные привести к головному событию, образуют следующий за ним первый уровень «дерева отказов». На втором уровне определяются события, явления и процессы, способные вызвать отказы первого уровня «дерева отказов», на третьем уровне - второго уровня и т. д. ( см., например, рис. П.2.2 в Приложении 2).

Пошаговое движение по всем возможным путям нежелательного функционирования сооружения от верхнего уровня к нижним приводит, таким образом, к уровню отказов элементов ГТС и его оборудования - так называемым базовым отказам [ 10, 54, 61, 62, 68]. События и процессы каждого уровня связываются с таковыми для следующего уровня «дерева отказов» логическими операторами типа «И», «ИЛИ» и т. д.

При построении «деревьев отказов» используются условные обозначения событий, приведенные в табл. П.1.6 [ 61]. Условные обозначения логических операторов приведены в табл. П.1.7. При наличии репрезентативных данных (статистики, паспортов и т. д.) об интенсивности базовых отказов «дерево отказов» может быть решено, т. е. найдена среднегодовая частота (вероятность) реализации головного события по частотам базовых отказов элементов ГТС, его оборудования, иных событий и явлений,

Следует отметить, что анализ «дерева отказов» можно использовать не только для определения частоты (вероятности) головного события, но и для определения частот событий на любом уровне «дерева отказов», что является несомненным достоинством метода в приложениях его к гидротехническим сооружениям, поскольку многие ветви «деревьев отказов» для различных головных событий совпадают.

Анализ «дерева отказов» дает группе исполнителей возможность построить логическую модель возникновения и развития процессов и явлений, приводящих к аварии ГТС, причем такая модель дает как качественную, так и количественную информацию о безопасности сооружения и уровне риска аварий, на нем возможных [ 54, 61, 77].

Недостатком метода является его трудоемкость и значительные сложности при проверке адекватности построенных графов реальным процессам, способным инициировать аварии анализируемого сооружения.

К несомненным достоинствам метода анализа «дерева отказов», широко применяемого в самых разных отраслях промышленности и уже начинающего применяться в сфере гидротехники, следует отнести [ 61, 77]:

возможность выявления тех аспектов работы сооружения, которые имеют большое значение для обеспечения его безопасности;

представление специалистам, работающим не только в области гидротехники, но и в других отраслях знаний, имеющим отношение к обеспечению безопасности ГТС (страховщики, социологи, спасатели и т. д.), наглядной графической информации о путях возникновения и развития аварийных процессов на анализируемом сооружении;

возможность проведения как качественного, так и количественного анализа риска аварий гидротехнических сооружений;

возможность детального анализа отдельных видов и способов отказов сооружений.

# Условные обозначения событий

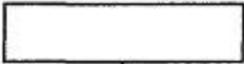
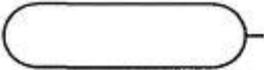
Обозначение события	Событие
	Разрабатываемое событие
	Событие-условие
	Символ переноса

Таблица П.1.7

Обозначение оператора	Наименование оператора	Условные обозначения логических операторов Причинно-следственное соотношение, выражающееся оператором
	«или»	Событие-следствие имеет место при наступлении хотя бы одного из исходных событий
	«или исключительное»	Событие-следствие имеет место при наступлении любого из исходных событий, но не двух одновременно
	«и»	Событие-следствие имеет место при наступлении всех исходных событий
	« <i>m</i> из <i>n</i> »	Событие-следствие происходит при наступлении любых из исходных событий
	«условие»	Наступление события-следствия возможно при наступлении события-условия

## 2.1. Анализ и оценка риска аварий ГЭС Чирюртских ГЭС

Состав сооружений: земляная плотина, донный бетонный водосброс, сопрягающий лоток, деривационный канал, напорный бассейн, напорные трубопроводы, здание ГЭС, отводящий канал, ОРУ 110 кВт.

Класс сооружений - II.

Длина напорного фронта - 0,35 км. Полная емкость водохранилища - 0,1 км<sup>3</sup>, полезная емкость - 0,004 км<sup>3</sup>. Максимальный статический напор - 49,5 м. Установленная мощность ГЭС при расчетном напоре 40,7 м составляет 72 тыс. кВт. Согласно результатам предварительного анализа опасностей (ПАО), выполненного экспертной группой в рамках комиссионного обследования состояния ГЭС, обязательному декларированию безопасности подлежат:

земляная плотина, донный водосброс, деривационный канал.

Земляная плотина - насыпная грунтовая зонированная, с глинистым ядром; длина - 430 м, максимальная высота - 37,5 м; ширина гребня - 9,5 м; заложение откосов: верхового от 1:2,5 до 1:3,5 низового от 1:2 до 1:2,25; в зоне переменного уровня верховой откос имеет крепление сборными железобетонными плитами. Донный бетонный водосброс в теле земляной плотины совмещен с водоприемником; водосброс длиной 34 м имеет 4 пролета шириной по 7 м и рассчитан на пропуск 3000 м<sup>3</sup>/с воды (паводок 0,1 % обесп.); удельный расход на рисберме - 80 м<sup>3</sup>/с.

Внешними причинами аварий и чрезвычайных ситуаций на декларируемых гидротехнических сооружениях Чирюртских ГЭС, как показывают результаты ПАО, могут быть следующие природные и техногенные воздействия: сверхрасчетное землетрясение; сверхрасчетный ливень; сверхрасчетный паводок; потеря внешнего электропитания; террористический акт на ГЭС.

Техногенные воздействия - случайные и злонамеренные - рассматриваются ввиду сложившейся на Северном Кавказе обстановки.

К внутренним причинам аварий ГЭС Чирюртских ГЭС относятся:

отказы механического оборудования водосброса;

нарушение фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины или насыпной части деривационного канала;

нарушение статической устойчивости низовой призмы грунтовой плотины;

старение бетонной облицовки насыпной части деривационного канала;

нарушение водонепроницаемости противофильтрационных элементов плотины.

Анализ природно-климатических условий территории размещения гидротехнических сооружений Чирюртских ГЭС, показателей природных и техногенных воздействий на ГЭС, компоновки сооружений, их конструкций и опыта эксплуатации, выполненный экспертной группой, позволяет считать, что на Чирюртских ГЭС возможны следующие основные сценарии возникновения и развития аварий гидротехнических сооружений, способных привести к чрезвычайным ситуациям:

A1: перелив через гребень грунтовой плотины в паводок при снижении пропускной способности водосброса, возможном вследствие отказов механического оборудования водосбросных устройств, при потере внешнего электропитания или в результате террористического акта. Следствием перелива будет размыв участка плотины, образование прорана в теле плотины, волна прорыва и затопление нижнего бьефа.

A2: локальное разрушение участка грунтовой плотины вследствие возможной потери статической устойчивости плотины или фильтрационной прочности грунтов тела и/или основания плотины, сверхрасчетного землетрясения или злонамеренного разрушения плотины (террористический акт) может привести к переливу в зоне локального понижения гребня на разрушенном участке плотины даже при НПУ. Следствием перелива будет дополнительный размыв разрушенного участка плотины, образование прорана, волна прорыва и затопление нижнего бьефа.

A3: разрушение участка деривационного канала, возможное вследствие нарушения целостности бетонной облицовки или разрушения насыпной части борта канала, может привести к изливу массы воды из канала на прилегающую территорию.

Иные сценарии аварий, возможных на ГТС Чирюртских ГЭС, как показывает предварительный анализ опасностей и качественное ранжирование сценариев по уровню риска, к чрезвычайным ситуациям привести не могут, и поэтому далее не рассматриваются. Блок-схема анализа основных вероятных сценариев возникновения и развития аварий на ГТС Чирюртских ГЭС приведена на рис. П.2.1.

Моделирование прорана в теле грунтовой плотины, оценка параметров зоны затопления и ущерба от аварий А1 и А2 позволяют классифицировать их как территориальные чрезвычайные ситуации [ 29]. Оценка габаритов зоны затопления и ущерба от аварии А3 позволяет классифицировать ее как локальную чрезвычайную ситуацию.

Причинами снижения пропускной способности водосброса могут быть:

- механические повреждения затворов;
- механические повреждения в пазах затворов;
- неисправности приводных устройств;
- потеря внешнего электропитания;
- злонамеренные действия - террористический акт.

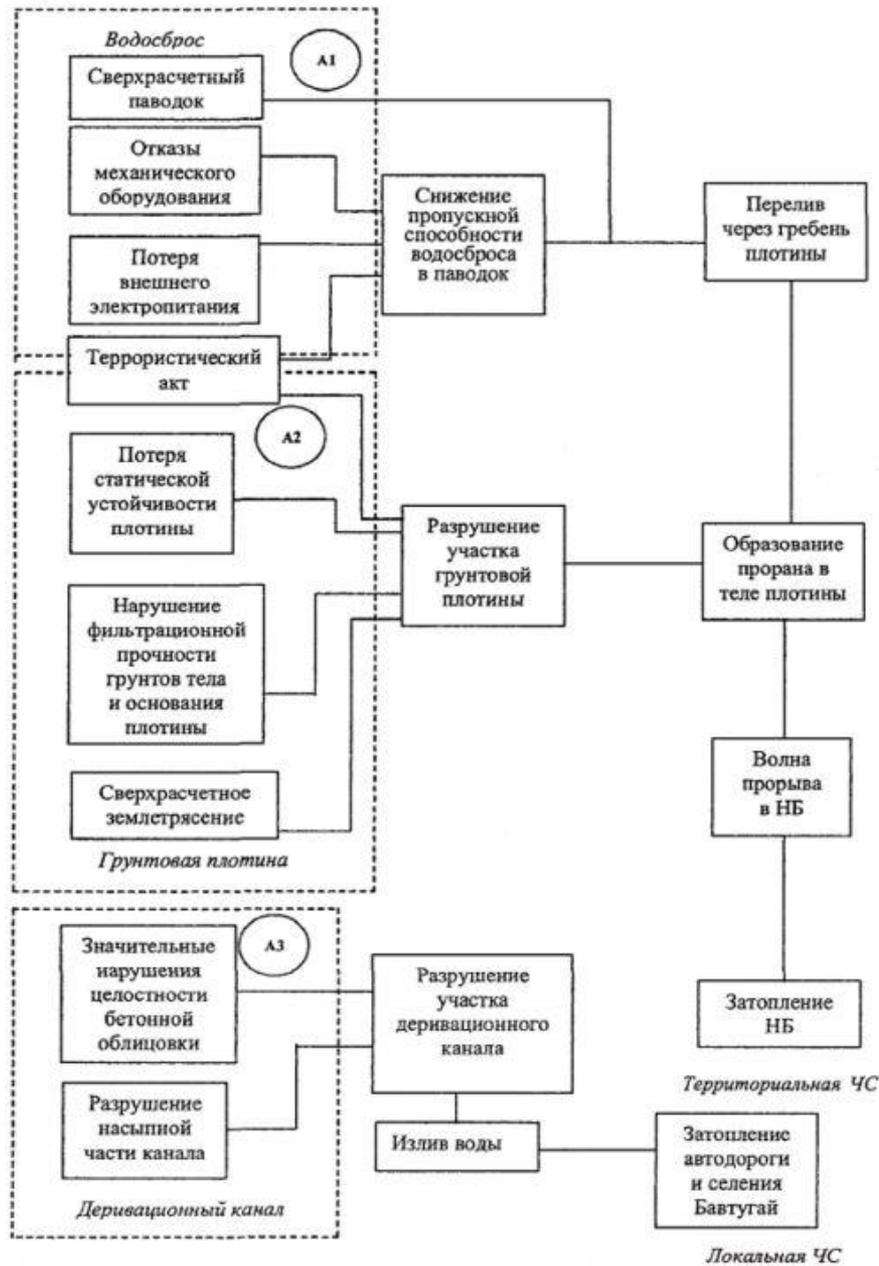
Возможные причины разрушения грунтовой плотины вследствие потери статической устойчивости или фильтрационной прочности (перелив через гребень рассматривается как отдельный сценарий аварии):

- потеря статической устойчивости низовой призмы плотины;
- сверхрасчетное землетрясение;
- террористический акт;
- суффозия в основании плотины;
- суффозия в теле плотины;
- нарушение водонепроницаемости противофильтрационных устройств плотины.

Возможные причины разрушения участка деривационного канала представляются следующими:

- старение бетона облицовки участка канала в отсутствие контроля за ее целостностью;
- злонамеренное разрушение бетонной облицовки или насыпи;
- суффозия грунтов насыпной части канала;

Рис. П.2.1. Блок-схема анализа основных вероятных сценариев возникновения и развития аварий на ГЭС Чиркунтских ГЭС.



# Рис. П.2.2. «Дерево отказов» для сценария аварии А1



Рис. П.2.3. «Дерево отказов» для сценария аварии А2



Рис. П.2.3. «Дерево отказов» для сценария аварии А2



$$PA2 = 1,03 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

Сценарий III – разрушение участка (ПК 20) деривационного канала

$$PA3 = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ 1/год.}$$

Следует отметить, что полученные количественные оценки учитывают вклад и среднегодовые вероятности возможных внешних воздействий на гидротехнические сооружения

Чирюртских ГЭС:

максимальный расчетный паводок ( $10^{-3}$  1/год),

максимальное расчетное землетрясение ( $10^{-3}$  1/год).

Допускаемый отечественными нормами обобщенный риск реализации предельного состояния первой группы для грунтовых плотин II класса в период постоянной эксплуатации, согласно данным от 21.05.2007 № 304 правил [5], составляет  $5 \cdot 10^{-4}$  1/год.

Сравнение указанных величин с полученными расчетным