



# Учебный курс «По рациональному использованию водных ресурсов, безопасности гидротехнических сооружений и трансграничному водному сотрудничеству»

*Тренинг для преподавателей университетов и институтов по водной дипломатии и международному водному праву и рациональному использованию водных ресурсов.  
2024 г.*

*Георгий Куртовезов, зав. лабораторией гидротехники и водопользования института «Туркменсувылымтаслама»*

# Учебный курс «Безопасность гидротехнических сооружений»

## Тематический кейс 2. Тема: «Показатели безопасности ГТС, возможные разрушения и предупреждение аварийных ситуаций»

### Содержание

1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.
2. Сценарии возникновения аварийных ситуаций.
3. Особенности разрушения гидротехнических сооружений, определение границ зоны затопления.
4. Декларации безопасности гидротехнических сооружений.
5. Кадастр и Регистр ГТС.
6. Общие положения предупреждения аварий на гидротехнических сооружениях.
7. Создание и использование аварийных материально-технических резервов по обеспечению безопасной работы гидротехнических сооружений.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

**Критерии безопасности ГТС** – это предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнических сооружений и условий их эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии, утвержденные в установленном порядке органами исполнительной власти, осуществляющими государственный контроль за безопасностью ГТС.

Понятия критериев состояния ГТС «К1» и «К2» заключаются в следующем:

- **К1 - первый (предупреждающий) уровень значений** диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность ГТС и его основания, а также пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений еще соответствуют нормальным условиям эксплуатации;
- **К2 - второй (предельный) уровень значений** диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

В большинстве стран, где обеспечивается законодательное регулирование безопасности ГТС, собственник ГТС или эксплуатирующая организация обязаны:

- обеспечивать разработку и своевременное уточнение критериев безопасности ГТС;
- развивать системы контроля за состоянием ГТС;
- разрабатывать (уточнять) критерии безопасности ГТС и представлять их на утверждение в Орган надзора на следующих этапах:
  - на стадии проектирования;
  - на стадии ввода в эксплуатацию;
  - на стадии эксплуатации;
  - при консервации и ликвидации ГТС;
  - при изменении нормативных правовых актов, действовавших при определении и утверждении критериев безопасности;
  - при изменении состояния ГТС и условий его эксплуатации, приведших к изменению его эксплуатационного состояния.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

- Если состояние сооружений отвечает проектно-нормативным требованиям безопасности, значит, оно соответствует нормальной эксплуатации;
- Если ГТС не отвечает проектно-нормативным требованиям, то имеет место потенциально опасное состояние сооружения - критерий 1 (К1) или предаварийное - критерий 2 (К2).

Для эксплуатационных ГТС необходимо различать следующие эксплуатационные состояния:  
нормальное; потенциально опасное и предаварийное.

Потенциально опасное состояние требует немедленного вмешательства владельца сооружения и органов надзора, которым эксплуатационный персонал немедленно сообщает о состоянии ГТС. В то же время это состояние сооружения не вызывает немедленного или сравнительно быстрого разрушения сооружения.

Оперативную оценку эксплуатируемого сооружения и его безопасности следует осуществлять путем сравнения измеренных или вычисленных количественных и качественных диагностических показателей с их критериальными значениями К1 и К2, а также с прогнозируемым интервалом изменения диагностических показателей.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

## **Причины перехода сооружений в состояние критерия безопасности К1.**

Причины перехода сооружения в состояние безопасности К1 очень разнообразны.

Кальмотация дренажа и как следствие этого, подъем кривой депрессии сверх проектного максимального положения на 10 - 20 см. Что может привести к снижению устойчивости низового откоса, повысит фильтрационный расход и т. д. Это состояние потенциально опасное и требует определенных мер.

**Переход ГТС из нормального состояния в предаварийное «критерий безопасности К2»,** минуя потенциально опасное состояние «критерий К1», невозможен. Если это происходит, то по причине недостатков наблюдений эксплуатационного персонала.

**Кроме инструментальных наблюдений немаловажное значение имеют визуальные наблюдения,** по которым даются качественные диагностические показатели (К1 и К2). **Качественную оценку состояния ГТС дает эксперт или группа экспертов.** Для этого оцениваются внешние проявления осадок и смещений, коррозии бетонных или металлических элементов, износа и старения материалов, протечки в потернах, выхода мелкозернистого грунта в месте протечек в потерну или галерею и другие нарушения. Оценивается возможность перехода потенциально опасного (К1) состояния сооружения в предаварийное (К2) и даже аварийное состояние.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

## Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений

При определении критериев отметок **депресссионной поверхности фильтрационного потока** в теле грунтовых сооружений и береговых примыканиях, **пьезометрических напоров**, **градиентов напора**, **фильтрационных расходов** в теле сооружений, основании и береговых примыканиях применяют:

- **аналитические методы** (метод исследования напорной и безнапорной фильтрации, метод фрагментов) и графический - **для определения критериальных значений пьезометрических напоров, фильтрационных расходов.**
- **численные методы, метод ЭГДА** - для определения критериальных значений основных показателей фильтрационного режима (**уровни, пьезометрические напоры, фильтрационные расходы**).
- **На стадии эксплуатации** критериальные значения **K1 и K2** уточняются поверочными расчетами.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

- При определении критериев **избыточного порового давления** применяют расчеты напряженно-деформированного состояния плотин из грунтовых материалов и их конструктивных элементов.
  - Для **вертикальных перемещений (осадки)** гидросооружений и их оснований, **горизонтальных перемещений, напряжения в теле сооружений и их основаниях, контактные напряжения, углов поворота характерных сечений бетонных и ж/бетонных сооружений** применяют:  
расчеты прочности и устойчивости бетонных гидросооружений и сооружений из грунтовых материалов (численные методы механики и механики сплошных сред, теории упругости, пластичности, ползучести). На стадии эксплуатации критериальные значения показателей состояния ГТС уточняются поверочными расчетами по откалиброванным на основе данных натурных наблюдений математическим моделям, а также на основе прогнозных статистических (регрессионных) моделей.
- Раскрытие трещин и межблочных швов** – применяют численные методы расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) с учетом образования и раскрытия трещин. На стадии эксплуатации для контроля состояния ГТС используются критериальные значения показателей, определенные на стадии проекта. **Глубина распространения трещины** по контакту бетонной плотины со скальным основанием - расчет системы плотина-основание методами теории упругости с учетом раскрытия шва по контакту, определение предельной глубины распространения.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

- При определении критериев взаимного смещения секций по швам бетонных и ж/бетонных сооружений - применяют определение допустимого взаимного смещения секций по швам относительно друг друга из условия сохранения герметичности шпонок.
- Температура фильтрующей воды в теле грунтовых сооружений - численные методы теории теплопроводности.
- Глубина размыва дна отводящего канала - определение глубины размыва расчетом по эмпирическим зависимостям (из условия допустимой не размывающей скорости потока) и удельного расхода или на основе исследований на гидравлической модели.

Критериальные значения глубины размыва дна отводящего канала ниже рисбермы на стадии эксплуатации принимаются равными значениям, определенным на стадии проекта.

- Параметры сейсмических колебаний основания и динамической реакции сооружений - расчет численными методами динамической теории сейсмостойкости.

# 1. Методы определения показателей критериев безопасности гидротехнических сооружений.

- В период временной и первый пятилетний период постоянной эксплуатации, используя результаты натуральных наблюдений и оценки фактической пропускной способности водопропускных сооружений, устанавливаются статистические зависимости между контролируемыми показателями и факторами, формируется перечень диагностических показателей, определяются критериальные значения показателей, которые затем включаются в декларацию безопасности ГТС и утверждаются в установленном порядке.
- Разработанные и утвержденные таким образом критерии безопасности К1 и К2 в период дальнейшей эксплуатации уточняются через каждые 5 лет.
- На ГТС, которые находятся в эксплуатации длительное время, и на которых утеряны техническая документация по проекту и исполнительная документация за период строительства, для определения критериев безопасности необходимо выполнять комплекс исследований. Выполнить обмерные и топографические работы для составления общих чертежей сооружений, ультразвуковые испытания бетонных конструкций для определения прочности бетона и схемы расположения арматуры. Используя результаты изысканий и исследований, необходимо повторить полный комплекс расчетов, выбрать контролируемые показатели и определить их ПДЗ. После чего, определить состав диагностических показателей и их критериальные значения.

## 2. Сценарии возникновения аварийных ситуаций.

### Методы определения вероятности наступления отдельных событий (отказов) на гидротехнических сооружениях

Ежегодная вероятность превышения максимальных расчетных расходов воды и скорости ветра задаются нормами (СНиП) в зависимости от класса ГТС.

Уровни воды в верхнем и нижнем бьефах определяются условиями пропуска максимальных расходов воды через ГТС. Ежегодная вероятность их появления определяется вероятностью появления соответствующего максимального расхода.

По кривым обеспеченности можно определять вероятность превышения любых промежуточных расходов и уровней воды в верхнем и нижнем бьефах. Более подробная информация по методам определения вероятности наступления отдельных событий (отказов) на гидротехнических сооружениях представлена в литературе [22] (Талипов Ш., Юрченко А. и др. в Приложении б).

### 3. Особенности разрушения гидротехнических сооружений, определение границ зоны затопления.

Нарушение или полное разрушение ГТС происходит по разным причинам, из них наиболее распространенными являются:

- обрушение откосов грунтовых ГТС;
- перелив воды через гребень водоподпорного сооружения;
- недостаточная фильтрационная прочность и несущая способность грунтов основания;
- недостаточная фильтрационная прочность материалов, из которых возведено водоподпорное сооружение.

Более подробно особенности и сценарии разрушения гидротехнических сооружений, определение границ зоны затопления приведены в литературе [22] (Талипов Ш., Юрченко А. и др. в Приложении 6).

## 4. Декларации безопасности гидротехнических сооружений

- Согласно общепринятым положениям **декларация безопасности ГТС** рассматривается в качестве основного документа, обосновывающего безопасность ГТС, их соответствие критериям безопасности, проекту, действующим техническим нормам и правилам, а также определяющего характер и масштаб возможных аварийных ситуаций и меры по обеспечению безопасной эксплуатации.
- **Как правило, перечень ГТС, подлежащих декларированию безопасности**, устанавливается органом надзора, исходя из критериев возможного возникновения ЧС и классом ГТС.
- **Государственная экспертиза** декларации безопасности ГТС осуществляется органом надзора за безопасностью ГТС.
- **Утверждение декларации** органом надзора является основанием для получения разрешения на строительство, ввод в эксплуатацию, эксплуатацию или вывод из эксплуатации ГТС, либо на его реконструкцию, капитальный ремонт, восстановление или консервацию.

## 4. Декларации безопасности гидротехнических сооружений

- Проведение государственной экспертизы декларации безопасности ГТС должно осуществляться с целью установления полноты и достоверности сведений, указанных декларантом, в части выявления степени опасности функционирования ГТС, достаточности предусмотренных мер по обеспечению безопасности ГТС и соответствия этих мер нормам и правилам.
- Вопросы, связанные с порядком составления декларации безопасности гидротехнических сооружений, а также примерная структура декларации безопасности ГТС, имеется в литературе [22] (Талипов Ш., Юрченко А. и др. в Приложении 7).

## 4. Декларации безопасности гидротехнических сооружений

### Декларация безопасности включает:

- Список разработчиков декларации
- Оглавление
- Общая информация
- Общие сведения о ГТС
- Описание ГТС и его месторасположения с ситуационным планом
- Общие меры по обеспечению эксплуатационной надежности и безопасности ГТС
- Страховые данные
- Анализ безопасности ГТС
- Сведения о выполненных работах по обеспечению надежности и безопасности ГТС
- Выводы
- Обеспечение готовности ГТС к локализации и ликвидации опасных повреждений и аварийных ситуаций
- Информирование общественности
- Заключение
- Приложения

## 4. Декларации безопасности гидротехнических сооружений

### Приложения к декларации:

- справка о состоянии ГТС с актом обследования;
- схема размещения сооружений с прилегающей территорией, попадающей в зону затопления;
- схема каскада ГТС, расположенного на реке;
- линейная схема каналов;
- характерные продольные профили и поперечные сечения по основным ГТС;
- схема размещения КИА, схема АСУ и система раннего предупреждения и оповещения;
- инженерно-технические и организационные мероприятия, направленные на обеспечение безопасности ГТС.

## 5. Кадастр и Регистр ГТС

- **Кадастр и Регистр ГТС** могут иметь как общие, так и различные цели, задачи и содержание. Эти вопросы устанавливаются законодательством и подзаконными актами каждой страны, которые могут вести либо Кадастр, либо Регистр.
- Как правило, в странах, где законодательно регулирует безопасность ГТС, установлены требования по **ведению или только Кадастра, или только Регистра**.
- **В основном, они имеют общие цели**, как например учёт и оценка технического состояния сооружений, обеспечение их безопасной работы, информационное обеспечение государственного управления и надзора в области безопасности ГТС и т.д.
- **Объектами Кадастра или Регистра являются все ГТС** независимо от их ведомственной принадлежности и форм собственности, повреждения которых могут привести к возникновению ЧС. В соответствии с нормативными актами Кадастр или Регистр могут вестись органами государственного надзора либо собственниками объекта (например, ниже III класса).
- Определенные различия в содержаниях Кадастра и Регистра ГТС можно увидеть на примере представленных в **литературе [22] (Талипов Ш., Юрченко А. и др. Приложение 8)**.

## 6. Общие положения предупреждения аварий на гидротехнических сооружениях

Основной задачей предупреждения аварий на ГТС является оперативное устранение нарушения процесса работы ГТС, не допуская условий возникновения ЧС.

### 1. Причинами возникновения аварийных ситуаций могут быть:

- прохождение высокого паводка с расходами, превышающими расчетную пропускную способность водопропускных сооружений гидроузла водохранилища;
- размывы и заносы водозаборных сооружений;
- катастрофические атмосферные осадки (ливень, снегопад), ледовые и шуговые явления;
- ухудшение неблагоприятного фильтрационного режима в местах расположения гидроузла, ограждающих напорных дамб водохранилищ, а также основаниях и примыканиях ГТС;
- снижение прочности и устойчивости ГТС и отдельных их элементов;
- отказы в работе гидромеханического оборудования.

## 6. Общие положения предупреждения аварий на гидротехнических сооружениях

2. Немедленному устранению подлежат нарушения и процессы в работе ГТС и МО, представляющие опасность для людей и создающие угрозу устойчивости и работоспособности основных ГТС и технического оборудования (водозаборы, гидроузлы, напорные дамбы).

К таким нарушениям и процессам относятся:

- резкое усиление фильтрационных процессов и суффозионных явлений с образованием просадочных зон и оползневых участков;
- неравномерная осадка ГТС и их оснований, превышающая предельно допустимые значения и создающая угрозу их устойчивости;
- забивка (заносы, завалы и т.п.) водозаборных, водопропускных и водосбросных сооружений, что может привести к переливу воды через гребень земляных сооружений с последующим разрушением их;
- выход из строя основных затворов или их подъемных механизмов, водосбросных и водопропускных устройств.

## 6. Общие положения предупреждения аварий на гидротехнических сооружениях

3. К местной производственной инструкции должна прилагаться заранее разработанная проектная документация по возможному предотвращению и ликвидации наиболее вероятных аварийных разрушений ГТС. Реализация мероприятий, предусмотренных проектной документацией, должна быть согласована с местными органами власти, подразделениями МЧС и органом надзора.

4. При угрозе возникновения катастрофических ситуаций необходимо организовать усиленный контроль за состоянием возможных зон повышенной опасности, а также иметь информацию от соответствующих государственных органов об угрозе возникновения стихийных явлений.

## 6. Общие положения предупреждения аварий на гидротехнических сооружениях

5. При наличии информации об угрозе возникновения катастрофических явлений, предупредительными мерами по предотвращению и ликвидации возможных аварий, а также уменьшению ущерба могут быть:

- снижение уровня воды в водохранилище;
- наращивание гребней и укрепление откосов земляных плотин, напорных ограждающих дамб; устройство запаней, струенаправляющих дамб в районе водозабора.

6. Противоаварийные устройства, водоотливные и спасательные средства должны содержаться в исправном состоянии и периодически проверяться.

7. Во всех случаях, когда возникает угроза разрушения напорных ГТС, необходимо срочное оповещение в установленном порядке всех населенных пунктов, расположенных ниже ГТС, и эвакуация населения из опасной зоны в соответствии с планом мероприятий.

В Приложении 9 литературы [22] (Талипов Ш., Юрченко А. и др. представлены материалы по: составлению плана действий службы эксплуатации при аварии гидротехнического сооружения; плану действия аварийно-диспетчерской службы при ликвидации аварий на водохранилище; действиям диспетчера в различных ситуациях; основным положениям создания системы раннего предупреждения и оповещения; ликвидации последствий гидродинамической аварии и катастрофических последствий.

## 7. Создание и использование аварийных материально-технических резервов по обеспечению безопасной работы гидротехнических сооружений

**Аварийный запас материалов, инструментов и оборудования** на ГТС предназначается для оперативного выполнения работ по предупреждению, локализации и ликвидации аварий на ГТС. Для этих целей каждая эксплуатирующая организация должна располагать необходимым аварийным запасом.

Потребность в аварийных запасах на проектируемых объектах определяется проектными организациями в составе разделов по эксплуатации.

**В случаях, если эксплуатируемый объект находится в особых условиях или имеет определенные дефекты** в элементах конструкций, для устранения которых требуется длительное время, **эксплуатирующая организация** на договорных началах может заказать проектному институту (автору проекта объекта) разработку индивидуальных норм аварийного запаса для своего объекта.

# СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

РЕГИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА USAID ПО ВОДНЫМ  
РЕСУРСАМ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

РУКОВОДИТЕЛЬ ЕКАТЕРИНА СТРИКЕЛЕВА

ПРОСПЕКТ ДОСТЫК 210Б, БЦ КОКТЕМ ГРАНД, 6  
ЭТАЖ, АЛМАТЫ 050051, КАЗАХСТАН



ДИСКЛЕЙМЕР: Данный материал подготовлен благодаря поддержке американского народа через Агентство США по международному развитию (USAID). Содержание данной презентации является исключительной ответственностью компании Tetra Tech ES, Inc. и не обязательно отражает точку зрения USAID или правительства США.