Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«Единая энергетическая система России»
(РАО « ЕЭС России»)

Методика

определения критериев безопасности гидротехнических сооружений

Москва
2001

gost.e-ecolog.ru

Российское акционерное общество энергетики и электрификации
«Единая энергетическая система России»
(РАО « ЕЭС России»)

Департамент научно-технической политики и развития

СОГЛАСОВАНО

Руководитель Департамента Государственного энергетического надзора и энергосбережения Минэнерго России

Б.П. Варнавский
"27" 12 2000 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Председателя Правления РАО «ЕЭС России»
В.П. Воронин
"27" 12 2000 г.

Первый заместитель начальника Департамента научно-технической политики и развития РАО "ЕЭС России"

А.П. Ливинский
"27" 12 2000 г.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

РД 153-34.2-21.342-00

Москва
2001

УДК 621.311

Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. М.: 2001. 24 с.

«Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» (далее «Методика») разработана в соответствии с решением совместного заседания НТС РАО «ЕЭС России», Координационного Совета по проблеме «Безопасность энергетических сооружений», секции «Единая энергетическая система» Научного Совета РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики на тему: «О ходе реализации и научно-техническом обеспечении Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» от 14 сентября 1999 г.

«Методика» разработана в ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» (д.т.н. Иващенко И.Н., к.т.н. Царев А.И., инженеры Блинов И.Ф., Комельков Л.В., Еникеев Ф.Г., Лавров Б.А., к.т.н. Лобач А.А., к.т.н. Чернилов А.Г., к.т.н. Дидович М.Я.), ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» (к.т.н. Беллендир Е.Н., д.т.н. Храпков А.А., к.т.н. Кузнецов В.С., к.т.н. Василевский А.Г., инж. Караваев А.В., д.т.н. Сапегин Д.Д., д.т.н. Судаков В.Б., к.т.н. Дурчева В.Н., к.т.н. Швайнштейн А.М., инж. Векслер А.Б.), АО «Институт Гидропроект» (к.т.н. Новоженин В.Д., инж. Вахрамеев А.К, д.т.н. Зарецкий Ю.К., д.т.н. Мгалобелов Ю.Б.).

В разработке «Методики» активное участие принимали сотрудники НТЦ энергонадзора Минэнерго России (инж. Радкевич Д.Б.), ОАО «Саяно-Шушенская ГЭС» (д.т.н. Гордон Л.А.), МГСУ (д.т.н. Рассказов Л.Н.), ЦСГНЭО (д.т.н. Бронштейн В.И.), МЭИ (к.т.н. Желанкин В.Г.).

Основные положения «Методики» обсуждались на заседаниях рабочей группы (председатель рабочей группы — к.т.н. Новоженин В.Д.), а также на совещании «Современные методы инструментального обследования для определения реального состояния гидротехнических сооружений электростанций России и опыт составления деклараций безопасности. Москва. ВВЦ, 20 – 22 сентября 2000 г.».

Отличительной особенностью данного документа является введение двух уровней критериальных значений диагностических показателей состояния сооружений. При этом первый уровень вводится в соответствии с требованиями ст. 9 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» (п. 2.3 «Методики») и является предупреждающим. Превышение первого уровня сигнализирует о наступлении потенциально опасного состояния и требует от собственника (эксплуатирующей организации) оповещения об этом органа надзора и принятия оперативных мер по переводу сооружения в нормальное состояние. В отличие от первого, превышение второго уровня критериальных значений влечет за собой также и ввод ограничений на режим эксплуатации гидротехнического сооружений (вплоть до понижения уровня верхнего бьефа).

«Методика» рассмотрена и рекомендована к утверждению на совместном заседании Координационного Совета по отраслевой программе «Безопасность энергетических сооружений» и секции НТС РАО «ЕЭС России» «Правовые и нормативно-технические проблемы безопасности энергетических сооружений» (протокол № 3 от 26.12. 2000 г.).

«Методика» вводится в действие с 1 января 2001 г. На основе обобщения опыта применения «Методики» в процессе эксплуатации и в ходе декларирования безопасности гидротехнических сооружений «Методика» подлежит пересмотру в 2005 году.

АО НИИЭС, 123362, Москва, а/я 393, Строительный проезд, д. 7а
Телефоны: 493 51 32, 493 35 77 Факс: (095) 493 64 29
E-mail: gost.e-ecolog.ru

©ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 2001

СОДЕРЖАНИЕ

1 Основные понятия 4

2 Общие положения 5

3 Определение критериальных значений диагностических показателей состояния гидротехнических сооружений 7

4 Разработка прогнозных математических моделей гидротехнических сооружений. 8

5 Применение качественных характеристик состояния ГТС при определении критериальных значений диагностических показателей 11

6 Требования к организации натурных наблюдений 12

7 Использование критериальных значений диагностических показателей при принятии решений по обеспечению безопасности сооружений 14

Перечень использованных источников 15

Приложение 1. Порядок разработки и утверждения критериальных значений диагностических показателей состояния ГТС 16

Приложение 2. Перечень контролируемых количественных и качественных показателей состояния, уровня внешних воздействий и условий эксплуатации ГТС.. 17

Приложение 3. Оценка уровня риска аварии эксплуатируемых ГТС.. 19

Приложение 4. Методы определения критериальных значений контролируемых показателей состояния ГТС 21

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

1.1. Федеральным законом «О безопасности гидротехнических сооружений» (далее по тексту — Федеральным законом) определены следующие понятия:

Чрезвычайная ситуация [1] — обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии гидротехнического сооружения, которая может повлечь или повлекла за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или ущерб окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Безопасность гидротехнических сооружений [1] — свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечить защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.

Критерии безопасности гидротехнического сооружения [1] — предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии гидротехнического сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими государственный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений.

Допустимый уровень риска аварии гидротехнического сооружения [1] — значение риска аварии гидротехнического сооружения, установленное нормативными документами.

1.2. В данном документе используются также следующие понятия :

Авария гидротехнического сооружения (далее ГТС) — разрушение или повреждение ГТС, вызванное непредвиденными (не предусмотренными проектом и правилами безопасности) ситуациями, и сопровождаемое неконтролируемым сбросом воды или жидких стоков из хранилища.

Уровень риска аварии ГТС — характеристика безопасности ГТС, которая может быть представлена в вероятностной форме, либо в форме детерминистического показателя (уровня безопасности ГТС), характеризующего степень отклонения состояния ГТС и условий его эксплуатации от требований нормативных документов.

Контролируемые показатели — измеренные на данном сооружении с помощью технических средств или вычисленные на основе измерений количественные характеристики, а также качественные характеристики состояния ГТС.

Диагностические показатели — наиболее значимые для диагностики и оценки состояния ГТС контролируемые показатели, позволяющие дать оценку безопасности и состояния системы «сооружение — основание — водохранилище» в целом или отдельных ее элементов.

Критерии состояния ГТС:

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 условиям нормальной эксплуатации;

K2 — второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима.

Эксплуатационные состояния сооружений:

нормальное — состояние сооружения, при котором сооружение соответствует всем требованиям нормативных документов и проекта, при этом значения диагностических показателей состояния сооружения не превышают своих критериальных значений *K1*;

потенциально опасное — состояние, при котором значение хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) своего первого (предупреждающего) уровня критериальных значений (значений *K1*) или вышло за пределы прогнозируемого при данном сочетании нагрузок интервала значений. Потенциально опасное состояние сооружения не отвечает нормативным требованиям, но эксплуатация ГТС не приводит к угрозе немедленного прорыва напорного фронта и сооружение может ограниченное время эксплуатироваться в соответствии с указаниями п. 7.2;

предаварийное — состояние, при котором значение хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) второго (предельного) уровня критериальных значений (значений *K2*). В этом случае эксплуатация сооружения в проектных режимах недопустима без оперативного проведения мероприятий по восстановлению требуемого уровня безопасности и без специального разрешения органа надзора (п. 7.3).

2. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. «Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений» (далее по тексту — «Методика») обязательна для применения при проектировании, строительстве, вводе в эксплуатацию и эксплуатации объектов энергетического комплекса Российской Федерации организациями, осуществляющими разработку, утверждение и применение критериев безопасности ГТС всех классов.

2.2. «Методика» определяет основные понятия, регламентирует процедуру и последовательность действий при выборе контролируемых и диагностических показателей состояния ГТС в составе проекта и на стадии эксплуатации, определении их критериальных значений, разработке прогнозных математических моделей, применении качественных характеристик, а также определяет «Порядок разработки и утверждения критериальных значений диагностических показателей состояния ГТС» и общие правила оценки риска аварий эксплуатируемых ГТС в детерминированной и вероятностной формах.

2.3. В соответствии со ст. 9 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» собственник гидротехнического сооружения и эксплуатирующая организация обязаны: «систематически анализировать причины снижения безопасности гидротехнического сооружения и своевременно осуществлять разработку и реализацию мер по обеспече-

нию технически исправного состояния гидротехнического сооружения и его безопасности, а также по предотвращению аварии гидротехнического сооружения».

2.4. Для эксплуатируемых ГТС необходимо различать следующие эксплуатационные состояния:

нормальное;

потенциально опасное;

предаварийное.

2.5. Оперативную оценку эксплуатационного состояния сооружения и его безопасности следует осуществлять путем сравнения измеренных (или вычисленных на основе измерений) количественных и качественных диагностических показателей с их критериальными значениями *К1* и *К2*, а также с прогнозируемым интервалом изменения диагностических показателей.

2.6. Для сооружений четвертого класса, а также при специальном обосновании для сооружений третьего класса допускается устанавливать один уровень критериальных значений *К2*.

2.7. Количественные критериальные значения *К1* и *К2* диагностических показателей следует устанавливать на основе оценок реакции сооружения при основном и особом сочетании нагрузок, соответственно. Состав нагрузок в сочетаниях и способ их определения должны быть установлены для конкретного сооружения нормативными документами и проектом и уточнены на стадии эксплуатации с учетом изменений в требованиях нормативных документов.

2.8. Критериальные значения диагностических показателей, а также уровень риска аварии ГТС (уровень безопасности ГТС) следует определять преимущественно в детерминистической форме в связи с тем, что все требования и критериальные условия действующих нормативных документов выражены в детерминистической форме с использованием системы коэффициентов надежности, опосредованно обеспечивающих допустимый уровень риска аварии гидротехнического сооружения.

2.9. В период эксплуатации для корректировки состава и критериальных значений *К1* и *К2* диагностических показателей следует использовать, кроме результатов расчетов, данные натурных наблюдений за весь период строительства и эксплуатации, а также результаты анализа опыта эксплуатации данного ГТС и аналогичных по конструкции и условиям эксплуатации сооружениях. В целях прогноза изменения показателей и возможно более точной их корректировки статистическими и детерминистическими методами должна быть разработана математическая модель сооружения.

2.10. Наиболее опасные зоны ГТС, состав диагностических показателей и их критериальные значения должны быть определены при разработке проекта в соответствии с требованиями нормативных документов по проектированию отдельных видов ГТС и уточнены перед вводом в эк-

сплуатацию и в процессе эксплуатации ГТС в соответствии со сценариями возможных аварий и результатами выполненных натурных наблюдений за работой и состоянием ГТС.

2.11. Измеряемый (вычисляемый по результатам измерений) контролируемый показатель, выбранный в качестве диагностического показателя, должен отвечать следующим условиям:

диапазон изменения значений показателя при нормальном эксплуатационном состоянии должен в несколько раз превосходить погрешность измерительной системы;

диагностический показатель должен поддаваться прогнозу с помощью детерминистических или статистических прогнозных моделей.

2.12. Порядок разработки и утверждения критериальных значений диагностических показателей представлен в приложении 1. Перечень контролируемых количественных и качественных показателей состояния и условий эксплуатации ГТС, а также перечень контролируемых нагрузок на сооружение, приведен в приложении 2.

2.13. Наряду с оценкой безопасности на основе сравнения измеренных значений диагностических показателей с их критериальными и прогнозируемыми значениями, оценка безопасности ГТС включает оценку уровня риска аварии. Для этой цели должна быть построена иерархическая система факторов безопасности и выполнена оценка уровня риска аварии в детерминистической и (или) вероятностной форме (приложение 3). Как правило, оценка уровня риска аварии должна выполняться при составлении декларации безопасности ГТС.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСТОЯНИЯ ГТС.

3.1. Проектное обоснование прочности и устойчивости ГТС и их оснований должно быть выполнено из условий недопущения предельных состояний [6]:

$$\gamma_{lc} \cdot F \leq \frac{\gamma_c \cdot R}{\gamma_n}$$

3.2. На стадии проекта состав и критериальные значения диагностических показателей *K1* и *K2* следует определять на основе анализа результатов расчетов и экспериментальных исследований фильтрационного, гидравлического и температурного режимов, напряженно-деформированного состояния, прочности и устойчивости ГТС на основное и особое сочетание нагрузок (Приложение 4), а также на основе анализа прочностных, деформационных и фильтрационных характеристик материала.

3.3. На основе анализа результатов натурных наблюдений и опыта эксплуатации ГТС должны быть осуществлены корректировка и дополнение критериальных значений *K1* (а в случае необходимости и *K2*) диагностических показателей с использованием:

результатов прогноза, который выполнен на основании статистических моделей, сформированных по данным натурных наблюдений;

поверочных расчетов по «откалиброванным» на основе натурных наблюдений детерминистическим математическим моделям, применительно к уточненным расчетным схемам ГТС, уточненным расчетным значениям параметров свойств материалов и пород оснований, а также параметров основного и особого сочетаний нагрузок.

3.4. На основе анализа работы ГТС на стадии эксплуатации следует также определить состав и критериальные значения *K1* и *K2* (аналогичных по назначению критериям *K1* и *K2*) качественных диагностических показателей состояния ГТС (раздел 5).

3.5. Для сооружений, измеренные значения диагностических показателей которых оказались значительно ниже расчетных значений, определенных на стадии проекта и в случае отсутствия результатов уточненных расчетов эксплуатируемого сооружения, критериальные значения показателей следует принимать по прогнозным статистическим моделям. При этом указанные статистические модели следует применять, как правило, в пределах диапазона нагрузок и воздействий, испытанных сооружением в процессе эксплуатации.

3.6. В случае превышения одним или несколькими диагностическими показателями критериального значения *K1*, определенного на стадии проекта и уточненного расчетом на стадии эксплуатации (а также в случае отсутствия указанных уточненных расчетных данных), допускается на период проведения мероприятий, которые предусмотрены п. 7.2, осуществлять прогноз поведения ГТС на основе статистических моделей.

3.7. Диагностику «потенциально опасного» и тем более «предаварийного» эксплуатационного состояния ГТС следует осуществлять на комплексной основе, с привлечением данных измерений всех диагностических показателей, в особенности таких, как параметры фильтрационного режима (расходы, величины противодавления, положение кривой депрессии, градиенты напора) и характеристики трещинообразования в бетонных плотинах, а также с привлечением статистических прогнозных моделей и качественных диагностических показателей.

4. РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

4.1. Для целей диагностики, прогноза состояния сооружений и определения эксплуатационных ситуаций следует использовать три типа математических моделей:

статистические;

детерминистические;

смешанные.

4.2. Статистические прогнозные модели следует применять для всего комплекса измеряемых диагностических показателей при наличии представительного временного ряда измерений в диапазоне воздействий, ранее испытанных сооружением.

4.3. При построении статистической модели должны быть осуществлены следующие действия:

из временного ряда измерений формируется базовая последовательность измерений $\{F_{изм}\}$;

выбирается прогнозирующая функция $F_{прог}$ (например, в случае прогноза напряженно-деформированного состояния бетонной плотины, в виде $F_{прог} = F(Z, T, t)$ — как правило, многочлена с неопределенными коэффициентами, где: Z — отметка уровня верхнего бьефа; T — температура окружающей среды; t — время, отсчитываемое, например, от начала измерений);

методом наименьших квадратов определяются коэффициенты многочлена;

определяется погрешность прогноза $\delta = k\sigma$ (где σ — среднеквадратическая погрешность прогноза, $k = 1, 2, 3$ — целые числа; при $k = 3$ вероятность попадания $F_{изм}$ в интервал значений $F_{прог} \pm \delta$ составляет 99%);

оценивается значимость коэффициентов многочлена и отбрасываются малозначащие члены;

построенная прогнозная статистическая модель проверяется на данных измерений, не входивших в базовую последовательность, и, в случае необходимости, осуществляется корректировка модели.

4.4. Модель следует передать эксплуатирующей организации в виде формулы для вычисления $F_{прог}$, либо в виде графиков или компьютерных программ, с помощью которых по текущим значениям аргументов вычисляется $F_{прог}$ и ее погрешность.

4.5. В процессе эксплуатации статистическая модель должна корректироваться с учетом новых данных измерений.

4.6. Детерминистическая (расчетная) модель, разработанная на стадии проекта, может использоваться на стадии начальной эксплуатации для прогноза при текущих, реальных на момент проверки нагрузках и воздействиях на сооружение. С этой целью следует выполнить расчеты не только на экстремальные, но и на промежуточные нагрузки и воздействия при реальных (определенных на стадии возведения сооружения) характеристиках материалов сооружения и основания.

4.7. С использованием данных натурных наблюдений необходимо проверить следующие гипотезы детерминистической модели:

гипотезу о сплошности материалов сооружения и пород основания (при обнаружении трещин или иных несплошностей, соизмеримых с разрешающей способностью применяемого численного метода, указанные несплошности следует включать в расчетную модель);

гипотезу материала (должен быть определен общий вид уравнений, характеризующих свойства материалов сооружения и пород основания при расчетах напряженно-деформированного состояния, фильтрационного и температурного режима);

гипотезу формы (подтверждение гипотез формы натурными измерениями, например, гипотезы плоских сечений, позволяет уменьшить размерность задачи).

4.8. Процедура калибровки расчетной модели, прошедшей указанные в п. 4.7 проверки, осуществляется на основе данных натурных наблюдений и заключается в следующем:

принятые в проекте значения характеристик материалов сооружения и пород основания варьируются (им даются некоторые приращения);

выполняется серия расчетов при различных (проварьированных) значениях характеристик и для каждого выполненного расчета вычисляется невязка между расчетными и измеренными показателями состояния (перемещениями, напряжениями, расходами);

по величине невязки для выполненной серии расчетов выбирается первое приближение к калиброванной модели — в качестве новых значений характеристик выбираются те, для которых невязка между расчетными и измеренными значениями наименьшая из всех выполненных расчетов;

процесс калибровки можно продолжить, дав характеристикам (параметрам модели) первого приближения новые вариации и выполнив новую серию расчетов.

Примечания к п. 4.8.

1. Варьирование параметров расчетной модели должно производиться таким образом, чтобы значения откалиброванных параметров оставались реальными и не выходили за пределы возможной погрешности в их определении.

2. Описанная выше процедура калибровки может быть обобщена и формализована как задача на минимум функционала невязки $\Phi(E_{пл}, E_{осн})$:

$$\Phi(E_{пл}, E_{осн}) = \sqrt{\frac{1}{IJ}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(F_{расч} - F_{изм})^2}$$

где: $E_{пл}$, $E_{осн}$ — аргументы функционала невязки Φ, например, модули деформации плотины $E_{пл}$ и основания $E_{осн}$;

$F_{расч}$, $F_{изм}$ — расчетное (измеренное) значение диагностического показателя (перемещения, напряжения, фильтрационного расхода и т.д.);

I — количество циклов натурных измерений диагностического показателя, вошедших в базовую последовательность калибровки;

J — количество точек измерения диагностического показателя, вошедших в базовую последовательность калибровки.

3. Минимизация функционала Φ может проводиться любым из известных в прикладной математике численных методов. В качестве начального приближения могут быть взяты проектные значения корректируемых (калибруемых) параметров.

4. В функционале Φ число варьируемых параметров, с помощью которых достигается лучшее приближение результатов измерений и расчетов, взято для определенности равным двум. В общем случае число калибруемых параметров может быть иным.

5. Если после калибровки откорректированные параметры (коэффициенты уравнений) расчетной модели нереальны и существенно отличаются от исходных (проектных), то это означает, что выбранная для калибровки расчетная модель не может быть прогнозной и должна быть заменена на другую, более адекватную реальной работе сооружения.

4.9. Для оценки погрешности детерминистической модели следует выполнить серию (или несколько серий) расчетов при одинаковых воздействиях, варьируя параметры модели в диапазоне их возможного изменения (а также густоту и конфигурацию сетки в случае применения метода конечных элементов).

4.10. Смешанные прогнозные модели следует применять в случаях, когда прогноз реального поведения сооружения на основе статистической или детерминистической модели оказывается неточным — в этом случае для разных диапазонов нагрузок и временных интервалов следует применять различные модели (например, для описания обратимых перемещений сооружения может быть использована детерминистическая модель, а для необратимых, в том числе связанных с реологическими процессами, — статистическая).

5. ПРИМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СОСТОЯНИЯ ГТС ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

5.1. При определении эксплуатационного состояния ГТС наряду с измеренными (вычисленными) количественными диагностическими показателями следует контролировать на основе визуальных наблюдений и экспертных оценок качественные диагностические показатели (Приложение 2).

5.2. Необходимо учитывать следующие отличия в определении критериальных значений качественных диагностических показателей $\tilde{K}1$ и $\tilde{K}2$ (аналогичных по смыслу критериальным значениям количественных показателей $K1$ и $K2$, соответственно) на стадиях разработки проекта и эксплуатации:

на стадии разработки проекта и начальной эксплуатации сооружения должен быть установлен перечень качественных диагностических показателей $\tilde{K}1$ и $\tilde{K}2$ — эта работа должна быть выполнена экспертами на основе обобщения опыта эксплуатации аналогичных сооружений и путем анализа прогноза изменения состояния сооружения под действием деструктивных процессов, природных и технологических нагрузок и воздействий;

на стадии эксплуатации (раз в 5 лет) необходимо выполнить обследование сооружения и на основе обобщения натурных наблюдений и с учетом особенностей эксплуатации сооружения, а также изменения его состояния экспертным методом откорректировать перечень качественных диагностических показателей и определить их критериальные значения $\tilde{K}1$ и $\tilde{K}2$.

5.3. Критериальные значения $\tilde{K}1$ и $\tilde{K}2$ качественных диагностических показателей, контролируемых визуально, следует определять экспертным методом:

должна быть создана группа экспертов из представителей эксплуатирующей и проектной организаций и из специалистов по эксплуатации сооружений, строительным материалам, геологии, фильтрации и др.;

экспертная группа должна составить перечень сценариев всех потенциально возможных аварий на сооружении с учетом его конструктивных и эк-

сплуатационных особенностей и определить деструктивные процессы (деформаций, коррозии, износа, старения, протечек, суффозии и т. п.), которые могут привести к аварии ГТС;

на основе анализа влияния деструктивных процессов на состояние сооружения экспертная группа должна определить качественные диагностические показатели и их критериальные значения $\tilde{K1}$, соответствующие условиям нормальной эксплуатации;

для каждого сценария потенциально возможной аварии определяются качественные диагностические показатели и их критериальные значения $\tilde{K2}$, соответствующие началу развития аварийного состояния.

5.4. При определении эксплуатационного состояния ГТС и детерминированной оценке уровня безопасности ГТС (Приложение 3) необходимо учитывать на экспертной основе следующие обстоятельства (Приложение 2):

изменения (порой весьма существенные) исходных данных, технических решений, нормативных требований, методов расчетов, принятых при проектировании ГТС, а также наличие и влияние условий эксплуатации, не предусмотренных в проекте;

изменение в процессе эксплуатации свойств материалов сооружений и пород оснований, а также проектных уровней нагрузок и воздействий;

недостатки в организации эксплуатации ГТС.

6. ТРЕБОВАНИЯ К ОРГАНИЗАЦИИ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

6.1. Учет представленных в данном разделе требований необходим для обеспечения оперативности и эффективности контроля состояния сооружений с использованием диагностических показателей и их критериальных значений.

6.2. Измерительная аппаратура в сооружении должна быть размещена таким образом, чтобы для каждого критериального значения показателя имелась соответствующая ему измеренная величина показателя.

6.3. Измерительные преобразователи должны быть установлены в первую очередь в тех зонах или точках, которые наиболее «чувствительны» к изменениям состояния конструкции или в которых по данным расчетов показатели имеют максимальные значения.

К таким зонам следует отнести: трещины и разломы в скальных основаниях, участки слабых пород, контакт «бетон — скала», примыкания к скальным бортам плотин, температурно-осадочные и блочные швы бетонных и железобетонных сооружений, гребни и зоны сопряжения с основанием наиболее высоких участков плотин из грунтовых материалов, зоны возможной контактной фильтрации, сопряжения бетонных и земляных сооружений и др.

6.4. Учитывая возможность преждевременного выхода из строя отдельных измерительных преобразователей, а также с целью повышения достоверности данных измерений в неоднородных материалах, в указанных зонах сооружений и их основаниях измерительные преобразователи следует устанавливать группами по $2 \div 3$ шт., дублировать измерения разными способами.

6.5. Измерения контролируемых показателей состояния сооружений должны выполняться возможно более простыми и надежными средствами. В случае применения недостаточно долговечных измерительных средств должна предусматриваться возможность их замены.

6.6. Для того, чтобы упростить сопоставление значений измеренных диагностических показателей с критериальными значениями должна быть составлена специальная таблица для всех сооружений гидроузла. В этой таблице для строительного периода должны быть приведены следующие данные:

наименование всех показателей состояния сооружений, контролируемых натурными наблюдениями;

способы определения значения каждого показателя по данным измерений;

первоначальные расчетные значения показателей, взятые из проекта;

значения показателей по данным измерений на характерные периоды работы сооружений.

6.7. Во время нормальной эксплуатации в таблице (базе данных) должны быть дополнительно помещены уточненные по данным измерений значения диагностических показателей (абсолютная величина, интенсивность изменения во времени) и значения показателей по данным измерений в характерные периоды работы сооружений.

6.8. С целью повышения эффективности контроля состояния сооружения, периодичность измерений должна быть назначена с учетом следующих факторов: ответственности сооружения и величины ущерба, возможного вследствие аварии или разрушения; качества строительства и эксплуатации; информативности и надежности системы контроля; фактического состояния, наличия (отсутствия) неблагоприятных процессов, снижающих эксплуатационную надежность и безопасность ГТС.

6.9. Для повышения безопасности эксплуатации сооружений следует использовать автоматизированные системы диагностического контроля (АСДК) гидротехнических сооружений, которые должны обеспечить автоматизацию процессов измерения параметров, характеризующих состояние сооружений, предварительную и окончательную обработку и анализ результатов контрольных измерений, сопоставление измеренных показателей с их критериальными значениями.

6.10. АСДК в зависимости от типа конкретного контролируемого сооружения должна включать в себя ряд подсистем в соответствии с номенклатурой диагностических показателей: контроля фильтрационного режима, геодезических наблюдений, контроля напряженно-деформированного состояния и т.д. В каждой подсистеме должны выполняться операции как общие для системы в целом, так и характерные для конкретной подсистемы.

6.11. В программу натурных наблюдений должны быть включены указания относительно состава и порядка визуальных наблюдений, являющихся одним из основных источников информации при определении критериальных значений $\tilde{K}1$ и $\tilde{K}2$ качественных диагностических показателей состояния сооружений. Особое внимание следует уделять контролю зон:

изменения инженерно-геологических условий основания;

сопряжения различных сооружений;

приложения сосредоточенных нагрузок;

переменного влажностного и температурного режима;

изменения конфигурации сооружения, концентрации и изменения характера напряжений.

Перечень контролируемых визуальными наблюдениями показателей состояния сооружений приведен в приложении 2.

7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ СООРУЖЕНИЙ

7.1. Безопасность гидротехнического сооружения считается полностью обеспеченной, если эксплуатационное состояние ГТС оценивается как «нормальное».

7.2. В случае наступления эксплуатационного состояния, диагностируемого как «потенциально опасное» (при превышении одним или несколькими диагностическими показателями значений *K1* или выхода диагностических показателей за пределы прогнозируемого при данном уровне нагрузок интервала значений) следует проверить достоверность результатов измерений и вычислений, а также обоснованность принятого значения *K1*. При этом наряду с диагностическими показателями следует привлекать для анализа результаты измерений и вычислений других контролируемых показателей.

При необходимости должна быть создана экспертная комиссия с привлечением проектной и научно-исследовательской организаций для уточнения оценки состояния сооружения и уровня его безопасности.

При превышении первого (предупреждающего) уровня критериальных значений собственник (эксплуатирующая организация) должен оповестить о наступлении потенциально опасного состояния сооружения орган надзора и принять оперативные меры по переводу сооружения в нормальное состояние.

7.3. Превышение одним или несколькими диагностическими показателями второго (предельного) уровня критериальных значений *K2* следует считать признаком наступления состояния, при котором дальнейшая эксплуатация ГТС в проектных режимах является нарушением Федерального закона с вытекающей отсюда ответственностью.

С наступлением данного состояния эксплуатирующая организация (собственник) обязана известить об этом орган надзора и незамедлительно приступить к проведению мероприятий по восстановлению требуемого уровня безопасности. Впредь до восстановления требуемого уровня безопасности должны быть введены ограничения на режим эксплуатации гидротехнического сооружения (вплоть до понижения уровня верхнего бьефа). Все мероприятия по восстановлению нормального состояния и ограничения на режим эксплуатации сооружений должны осуществляться под непосредственным контролем органа надзора.

Если значения контролируемых показателей отклоняются от границ прогнозируемого интервала с возрастающей интенсивностью, свидетельствуя о быстром развитии разрушительных процессов, то собственник ГТС и эк-

сплуатирующая организация обязаны в соответствии со ст. 9 Федерального закона «осуществлять по вопросам предупреждения аварий гидротехнического сооружения взаимодействие с органом управления по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям; незамедлительно информировать об угрозе аварии гидротехнического сооружения региональные органы надзора за безопасностью гидротехнических сооружений, другие заинтересованные государственные органы, органы местного самоуправления и в случае непосредственной угрозы прорыва напорного фронта - население и организации в зоне возможного затопления». Одновременно эксплуатирующая организация (собственник) должна незамедлительно приступить к сработке или понижению уровня верхнего бьефа (а также к уменьшению других нагрузок и воздействий) до отметок, при которых развитие разрушительного процесса прекратится.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Федеральный** закон «О безопасности гидротехнических сооружений». Собрание законодательства Российской Федерации. 1997. №30. ст. 3589.
2. **Золотов Л.А., Иващенко И.Н., Раджевич Д.Б.** Оперативная количественная оценка уровня безопасности эксплуатируемых гидротехнических сооружений. //Гидротехническое строительство. 1977. № 2. с. 40 – 43.
3. **Стефанишин Д.Б.** Первоочередные задачи по вероятностным расчетам сооружений при составлении деклараций их безопасности. //Гидротехническое строительство, 1988. № 10. с. 1 – 6.
4. **Царев А.И., Иващенко И.Н., Малаханов В.В., Блинов И.Ф.** Критерии безопасности гидротехнических сооружений как основа контроля их состояния. //Гидротехническое строительство. 1994. № 1. с. 9 – 14.
5. **Рекомендации** по определению предельно допустимых значений показателей состояния и работы гидротехнических сооружений. П836-85/Гидропроект им. С.Я. Жука. М.: Гидропроект. 1985.
6. **СНиП** 2.06.01-86. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования.
7. **Рекомендации** по оценке надежности гидротехнических сооружений. П-842-86/ Гидропроект им. С.Я. Жука. М.: Гидропроект. 1986.

Порядок разработки и утверждения критериальных значений диагностических показателей состояния ГТС

1. В соответствии со ст. 9 Федерального закона «Собственник или эксплуатирующая организация обязаны:

обеспечивать разработку и своевременное уточнение критериев безопасности гидротехнического сооружения».

2. Устанавливаются два обязательных этапа определения (назначения) критериальных значений диагностических показателей (критериев безопасности):

на стадии проекта;

на стадии эксплуатации.

3. Перечень и критериальные значения диагностических показателей, разработанные на стадии проекта, должны корректироваться на стадии ввода объекта в эксплуатацию с учетом всей дополнительной информации, полученной в период строительства, а также с учетом возможного расширения объема контроля за эксплуатируемым ГТС.

4. Критериальные значения диагностических показателей должны быть откорректированы и вновь утверждены органом надзора также в случаях:

изменения нормативно-правовой базы, действовавшей при определении перечня и утверждении критериев безопасности;

изменения состояния ГТС и условий его эксплуатации, приведших к изменению эксплуатационного состояния.

5. В соответствии со ст. 13 Федерального закона критерии безопасности подлежат утверждению органом надзора за безопасностью гидротехнических сооружений.

6. Собственник (или эксплуатирующая организация) обязаны представить критерии безопасности на утверждение одновременно с представлением декларации безопасности.

7. Утверждение критериев безопасности осуществляется органом надзора на основе рассмотрения следующих материалов:

перечня контролируемых диагностических показателей;

таблицы диагностических показателей и их критериальных значений;

схем размещения средств измерений и состава визуальных наблюдений на сооружениях;

пояснительной записки с описанием использованных методов определения критериев безопасности.

8. В процессе рассмотрения и утверждения критериев безопасности органом надзора следует анализировать:

достаточность КИА;

обоснованность назначения состава диагностических показателей;

обоснованность и корректность использованных методов определения критериев безопасности.

9. Рассмотрение материалов, представленных в орган надзора для утверждения критериев безопасности, осуществляется одновременно с экспертизой декларации безопасности и должно быть завершено в течение трех месяцев.

Перечень контролируемых количественных и качественных показателей состояния, уровня внешних воздействий и условий эксплуатации ГТС

1. Для оценки состояния эксплуатируемого ГТС необходимо контролировать следующие количественные (измеряемые с помощью технических средств и вычисляемые на основе измерений) показатели:

вертикальные и горизонтальные перемещения и деформации сооружений, их оснований (в пределах активной и приконтактной зон);

напряжения (усилия) в сооружениях и их основаниях (бетон, арматура, скала, грунт и др.);

напряжения на контакте бетонных сооружений с основанием, с различного рода засыпками и земляными сооружениями;

параметры сейсмических колебаний оснований и динамической реакции сооружений;

взаимные смещения по межсекционным швам бетонных и железобетонных сооружений;

раскрытие трещин, межблочных швов в бетонных и железобетонных сооружениях;

глубину распространения трещины по контакту бетонной плотины со скальным основанием;

углы поворота характерных сечений бетонных и железобетонных сооружений;

фильтрационный расход воды (суммарный и по отдельным участкам сооружений и их оснований), поступающий в дренажные устройства и подземные выработки или выходящий на дневную поверхность;

температуру и химсостав фильтрующей воды;

отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле грунтовых сооружений и береговых примыканиях;

пьезометрические напоры и их градиенты в теле грунтовых сооружений, основании и береговых примыканиях;

фильтрационное давление на подошвы бетонных сооружений;

поровое давление и интенсивность его рассеивания в водоупорных элементах плотин из грунтовых материалов и основаниях;

температуру сооружений, а также их оснований (в приконтактной зоне).

2. Для оценки состояния сооружений необходимо контролировать также действующие на сооружение нагрузки и воздействия:

гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов (уровни воды, графики наполнения и сработки водохранилища);

температура окружающих сооружение сред (воздуха, воды);

давление наносов (их уровень и механические характеристики);

ветроволновые и ледовые воздействия;

техногенные воздействия на сооружение (взрывы, проходка подземных выработок, сброс потока воды, работа гидроагрегатов, движение железнодорожного и автомобильного транспорта);

сейсмические воздействия (динамические перемещения, скорости, ускорения основания во время сейсмособытия).

3. Оценку состояния сооружений и уровня риска аварий (уровня безопасности) эксплуатируемого ГТС необходимо выполнять также с учетом следующих показателей:

соответствия конструктивно-компоновочных решений, инженерно-геологических особенностей основания, технологии строительства, условий эксплуатации ГТС положениям действующих норм и правил, а также современным методам расчетов и методам оценки состояния ГТС;

опасности превышения принятых в проекте расчетных уровней возможных природных воздействий;

изменения расчетных значений механических и фильтрационных характеристик материалов сооружений, а также свойств пород оснований;

изменения пропускной способности водосбросных и водопропускных сооружений, а также работоспособности элементов противофильтрационного контура;

соответствия критериям безопасности показателей состояния, контролируемых средствами измерений, а также оцениваемых на экспертной основе (в том числе контролируемых визуально);

оценок последствий возможных аварий и состояния противоаварийного обеспечения ГТС;

соответствия условий эксплуатации требованиям норм и правил безопасности.

4. Экспертной оценке и визуальному контролю подлежат следующие качественные показатели:

наличие и развитие просадок или пучения грунта на гребне, бермах или откосах грунтовых сооружений;

оползни, в том числе локальные, откосов плотин и береговых склонов, абразия берегов, оврагообразование;

деформация, износ и коррозия бетонных, железобетонных и металлических элементов сооружений;

повреждения волнозащитных креплений откосов плотин;

наличие полостей и каверн в основании и теле сооружений;

наличие и развитие трещин и других повреждений на гранях сооружений, в зонах сопряжения элементов сооружений и оснований с различными механическими и фильтрационными свойствами, а также в подземных выработках;

протечки в потернах сооружений, следы выщелачивания бетона;

засорение, зарастание, перемерзание дренажных устройств;

наледи на выходах фильтрующей воды;

высачивание воды и намокание откосов и склонов, заболачивание, появление ключей и грифонов;

наличие мутности фильтрующей воды;

механические повреждения элементов водосбросного тракта и размывы русла в нижнем бьефе;

повреждение и нарушение работоспособности затворов, гидромеханического, кранового и электромеханического оборудования;

работоспособность систем инструментального контроля;

ориентировочные объемы и уровень наносов в верхнем бьефе.

5. Перечни, приведенные в п.п. 1 – 4, не являются неизменными и исчерпывающими и должны уточняться и дополняться для каждого конкретного сооружения с учетом природных условий, конструктивных особенностей сооружений и условий эксплуатации.

Приложение 3
Рекомендуемое

Оценка уровня риска аварии эксплуатируемых ГТС

1. Детерминированную оценку уровня риска эксплуатируемых ГТС рекомендуется осуществлять в форме обобщенного показателя, объединяющего влияние количественных и качественных факторов безопасности. Указанный обобщенный показатель (уровень безопасности ГТС) характеризует степень отклонения безопасности ГТС от требований проекта (точнее — от современных требований норм и правил).

2. Оценка уровня безопасности ГТС может быть выполнена следующим образом:

а) рассматриваются различные сценарии аварий;

б) для каждого сценария аварии определяется перечень действующих факторов;

в) различные количественные и качественные факторы безопасности приводятся к единому масштабу (ранжируются по единой шкале, разбитой на интервалы).

г) осуществляется количественная оценка меры риска (уровня безопасности ГТС) с учетом взаимовлияния различных (приведенных к единому масштабу) факторов безопасности по формуле [2]:

$$I=I_{max} - \prod_{i}^{n}(I_{max}-I_i)/(I_{max}-I_{min})^{n-1} \qquad (П.3.1)$$

где I_i — значения факторов безопасности; I_{max}, I_{min} — максимальное и минимальное значения факторов для того интервала указанной количественной шкалы, которому соответствуют качественные значения факторов, учитываемых при вычислениях по формуле (П.3.1).

3. Рассмотренный в п.п. 1, 2 способ оценки уровня безопасности эксплуатируемого ГТС не исключает применения вероятностного метода оценки меры риска. В частности традиционные вероятностные представления характеристик воздействий (гидрологических, ветроволновых, сейсмических) следует использовать при выполнении оценок факторов безопасности, характеризующих природные воздействия, свойства материалов и пород основания. Аналогично при оценке соответствия состояния эксплуатируемого ГТС современным методам расчетов, нормам и правилам рекомендуется использование (при наличии соответствующих рекомендаций в нормативных документах) вероятностных оценок надежности гидроузла в целом или его отдельных элементов.

4. Наиболее эффективно применение вероятностных оценок надежности и безопасности сооружений при сильной случайной изменчивости действующих факторов, в особенности при учете особых нагрузок и воздействий (в том числе катастрофических природных) или их сочетаний, например сейсмического воздействия при случайном и меняющемся в широких пределах уровне водохранилища и т.п.

5. Вероятностную оценку риска аварии ГТС рекомендуется осуществлять в следующем порядке:

а) рассматриваются различные сценарии аварий;

б) для каждого сценария аварии определяется перечень действующих факторов;

в) определяются вероятностные характеристики действующих факторов;

г) расчетом по формулам (например, приведенным в работах [3,7]) определяется вероятность аварии ГТС.

6. Заключительным этапом оценки риска аварии или оценки уровня безопасности эксплуатируемого ГТС является анализ полученных результатов, выявление наиболее «опасных» факторов и разработка рекомендаций технического или организационного характера по обеспечению безопасности ГТС.

Примечание.

Приведенные в данном приложении рекомендации по оценкам риска аварии (уровня безопасности) эксплуатируемых ГТС не исчерпывают существующего многообразия методов указанных оценок. По согласованию с органом надзора возможно применение и других методов детерминированных и вероятностных оценок риска аварий ГТС.

Приложение 4

Рекомендуемое

Методы определения критериальных значений *K1* и *K2* показателей состояния сооружений

№ п/п	Наименование показателя	Рекомендуемые методы расчетов и исследований для определения критериальных значений *K1* и *K2* показателей состояния ГТС
1	2	3
1	Отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле грунтовых сооружений и береговых примыканиях	Аналитические методы исследования напорной и безнапорной фильтрации и графический метод — 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, в том числе на основе использования прогнозных статистических моделей
2	Пьезометрические напоры в теле сооружений, основании и береговых примыканиях	
3	Градиенты напора в теле сооружений, основании и береговых примыканиях	
4	Фильтрационные расходы в теле сооружений, основании и береговых примыканиях	
5	Избыточное поровое давление и интенсивность его рассеивания в водоупорных элементах грунтовых плотин и в основаниях	Расчеты напряженно-деформированного состояния плотин из грунтовых материалов и их оснований с учетом консолидации
6	Вертикальные перемещения (осадки) гидросооружений и их оснований	Расчеты НДС, прочности и устойчивости бетонных гидросооружений и сооружений из грунтовых материалов (численные методы механики сплошной среды, теории упругости, пластичности, ползучести). На стадии эксплуатации критериальные значения показателей состояния ГТС уточняются поверочными расчетами по "откалиброванным " на основе данных натурных наблюдений детерминистическим математическим моделям, а также на основе прогнозных статистических (регрессионных) моделей
7	Горизонтальные перемещения гидросооружений и их оснований	
8	Напряжения в теле сооружений и их основаниях, контактные напряжения	
9	Углы поворота характерных сечений бетонных и железобетонных сооружений	
10	Раскрытие трещин и межблочных швов	Инженерные методы, регламентированные СНИиП (вторая группа предельных состояний).Численные методы расчета НДС с учетом образования и раскрытия трещин. На стадии эксплуатации для контроля состояния ГТС используются критериальные значения показателей, определенные на стадии проекта

1	2	3
11	Глубина распространения трещины по контакту бетонной плотины со скальным основанием	Расчет НДС системы "плотина — основание" методами теории упругости с учетом раскрытия шва по контакту, определение предельной глубины распространения трещины по контакту бетонной плотины со скальным основанием из условий обеспечения прочности сооружения и основания. На стадии эксплуатации — использование прогнозных математических моделей
12	Взаимное смещение секций по швам бетонных и железобетонных сооружений	Определение допустимого взаимного смещения секций по швам относительно друг друга из условия сохранения герметичности шпонок. На стадии эксплуатации — использование статистических моделей
13	Температура и температурный градиент в теле сооружения и в приконтактной зоне основания (для сооружений, возводимых в северной климатической зоне)	Расчеты термонапряженного состояния плотин и их оснований численными методами. На стадии эксплуатации критериальные значения показателя уточняются расчетом с учетом реального температурного режима окружающей среды
14	Температура фильтрующей воды в теле грунтовых сооружений	Численные методы теории теплопроводности. На стадии эксплуатации — использование статистических моделей
15	Глубина размыва дна отводящего канала ниже рисбермы	Определение глубины размыва — расчетом по эмпирическим зависимостям (из условия допустимой неразмывающей скорости потока) или на основе исследований гидравлической модели. Критериальные значения глубины размыва дна отводящего канала ниже рисбермы на стадии эксплуатации принимаются равными значениям определенным на стадии проекта
16	Линейный размер и площадь зоны нарушения контакта плит крепления откосов плотин из грунтовых материалов	Расчет прочности плит крепления откосов плотин из грунтовых материалов для различных условий их опирания
17	Параметры динамической реакции сооружений	Расчет численными методами динамической теории сейсмостойкости

Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений

Научный редактор И.Н. Иващенко

Компьютерная верстка А.Г. Мелихова

Подписано в печать 12.03 2001
Формат 60x90/16. Гарнитура Таймс
Бумага офс. №1. Печать офсетная.
Объем 1,5 п.л. Тираж 500 экз.

gost.e-ecolog.ru

ИПЦ «Глобус», г. Москва, Тверская застава, 3.