Открытое акционерное общество
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ имени Б.Е.ВЕДЕНЕЕВА»

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ СОСТОЯНИЕ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

П82 – 2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

gost.e-ecolog.ru

Открытое акционерное общество
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ имени Б.Е.ВЕДЕНЕЕВА»

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ, КОНТРОЛИРУЮЩИХ СОСТОЯНИЕ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

П82–2001
ВНИИГ

Санкт-Петербург
2001

УДК 627.824.012.4

На основе анализа данных натурных наблюдений разработаны принципы выбора параметров, диагностирующих состояние бетонных плотин по условиям устойчивости, прочности и долговечности; рассмотрены этапы диагностирования работоспособности плотин; даны указания по определению фактической схемы статической работы системы плотина-основание, по прогнозированию развития необратимых процессов и резервов надежности плотин.

Рекомендации предназначены для использования при проектировании и проведении натурных наблюдений на бетонных плотинах.

© ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева», 2001

ПРЕДИСЛОВИЕ

Главной задачей эксплуатационного контроля за состоянием бетонных плотин является обеспечение их надежности. Для реализации этого бесспорного положения должны быть разработаны единые для всех энергосистем методы обработки, анализа и диагностирования поведения плотин и вмещающих их массивов горных пород. В настоящее время на каждом гидроузле существует своя система экспертных оценок состояния плотин, исторически сложившаяся на основе выводов отчетов по натурным наблюдениям и исследованиям, выполнявшихся различными НИИ и проектными организациями.

Отсутствие единого подхода к проблемам диагностики, а именно единой терминологии с одинаковым смысловым содержанием, единых принципов выбора диагностических признаков и параметров препятствует возможности объективно судить о текущем состоянии плотины, прогнозировать ее поведение и определять резервы надежности.

Главная проблема диагностирования эксплуатируемых сооружений заключается в стыковке расчетных моделей с фактической схемой статической работы плотины и основания.

Такие понятия, как устойчивость, прочность и долговечность, в виде зависимостей и коэффициентов запаса лежат в основе проектирования гидротехнических сооружений (СНиП). Но эти нормативные зависимости, определяющие реакцию плотины и основания на проектное сочетание нагрузок, в натуре часто изменяются. Целью диагностики работы сооружения по данным натурных наблюдений является оценка устойчивости, прочности и долговечности по контролируемым параметрам и на этой основе корректирование расчетных моделей, позволяющих совместно с анализом натурных данных судить о надежности бетонных плотин, необходимости их ремонта или вывода из эксплуатации.

Рекомендации составлены с учетом реальных проблем в работе отечественных плотин, а также зарубежного опыта гидротехнического надзора.

Рекомендации предусматривают возможности применения современной вычислительной техники для хранения, обработки и анализа эксплуатационной документации, в первую очередь, данных натурных наблюдений.

Рекомендации разработаны в ОАО "ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева" зав. лабораторией мониторинга и диагностики сооружений канд.техн.наук В.Н.Дурчевой и научн. сотрудниками Э.К.Александровской, С.М.Пучковой.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Назначение рекомендаций и область применения

1.1. Настоящие Рекомендации являются первым документом, посвященным вопросам диагностирования состояния бетонных плотин.

1.2. Рекомендации предназначены для гидротехнических служб ГЭС, научных, проектных и других организаций, участвующих в работах по контролю за состоянием бетонных плотин и их оснований.

1.3. Использование Рекомендаций требует определенной квалификации персонала гидроцехов, владения методами анализа натурных данных, опытом работы на ЭВМ, знанием современных проблем надежной эксплуатации бетонных плотин.

1.4. Рекомендации содержат указания по принципам выбора параметров, диагностирующих состояние плотины, прогнозированию развития необратимых процессов и определению резервов надежности.

Цель и задачи Рекомендаций

1.5. Целью Рекомендаций является разработка оптимального подхода к выбору диагностических параметров, позволяющих оценить текущее состояние бетонной плотины и основания, прогнозировать ее поведение в дальнейшем.

1.6. Анализ контролируемых параметров должен выявить причины непроектного состояния плотины, оценить долговечность сооружения, его прочность и устойчивость.

Внесены ОАО «ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева»	Утверждены РАО «ЕЭС России» письмо № 02-1-03-4/633 от 03.07.98	Срок введения в действие IV кв. 2001 г.

1.7. Для реализации этих целей необходимо решить следующие задачи:

оценить достоверность и представительность натурных данных;

определить фактическую схему статической работы плотины и основания;

выявить специфику действующих нагрузок и воздействий, их отличие от проектных;

определить по данным натурных наблюдений наиболее ослабленные и чувствительные к изменению нагрузок места в сооружении (подземный контур, напорная грань, отдельные секции, отметки и т. д.);

установить наличие, характер и причины необратимых явлений, возможность прогноза их развития;

выбрать диагностические параметры и признаки, которые бы характеризовали диагностируемое состояние: устойчивость, прочность и долговечность, а также обосновывали необходимость ремонта или изменения условий эксплуатации;

выбрать из всей совокупности заложенной в сооружениях плотины КИА те датчики, которые напрямую или через простейшие диагностические зависимости давали бы сведения о состоянии плотины.

Организация и состав наблюдений

1.8. Состав и объем натурных наблюдений, определяемые нормативными документами [1, 2], зависят от класса капитальности сооружения, геолого-структурных особенностей основания гидроузла, экологии и т.д. Организация натурных наблюдений регламентирована [3].

1.9. На каждом гидроузле осуществляются визуальные и инструментальные наблюдения, объем инструментальных наблюдений зависит от класса капитальности.

1.10. К обязательным инструментальным наблюдениям относятся геодезические наблюдения, контролирующие деформирование геологической среды, основания и тела плотины, и фильтрационные, оценивающие фильтрационный режим в плотине и основании.

На высоких плотинах I класса обязательно осуществляются температурные, тензометрические наблюдения за напряженным состоянием бетона и основания, контролируется раскрытие конструктивных и строительных швов. На схеме 1 представлены виды натурных наблюдений, проводимых на высоких бетонных плотинах; в табл.1 приведены состав натурных наблюдений, способы и средства измерения для контроля эксплуатационной надежности бетонных плотин.



Схема 1. Виды натурных наблюдений на бетонных плотинах

Таблица 1

Состав натурных наблюдений

Диагностируемое состояние	Виды наблюдений	Способы и средства измерений	Контролируемые параметры
Деформирование плотины и массивов, ее вмещающих; геолого-структурные особенности геологической среды	Геодезические, геофизические, геологические, визуальные	Нивелирование (геометрическое, тригонометрическое, гидростатическое); створные измерения (струнный, оптический створы); триангуляция, полигонометрия, сети из вытянутых треугольников и т.д.; отвесы (прямые, обратные)	Планово-высотные перемещения геодезических знаков; плановые (горизонтальные) перемещения характерных точек плотины
Фильтрационный режим в плотине, основании и береговых примыканиях	Пьезометрические, температурные, расходомерные, химические, визуальные	Пьезометрическая сеть, пьезодинамометры, термометрия, расходомеры, визуальные наблюдения очагов фильтрации, зон выщелачивания, химический и механический анализ фильтрующейся воды, водопроявления в геологической среде	Пьезометрические напоры; фильтрационные расходы; механический и химический состав фильтрующейся воды; температура фильтрационного потока
Температурный режим плотины и основания	Температурные	Термометры	Температура

Продолжение табл.1

Диагностируемое состояние	Виды наблюдений	Способы и средства измерений	Контролируемые параметры
Напряжения (деформации) в бетоне, арматуре и вмещающих плотину скальных массивах	Тензометрические	Тензометры, деформометры, арматурные динамометры	Напряжения (деформации) в бетоне, основании, арматуре
Монолитность плотины	Тензометрические, щелемерные, визуальные	Контактные тензометры, щелемеры (дистанционные, накладные)	Раскрытие конструктивных, технологических швов, контактных поверхностей, трещин
Состояние бетона и пород основания как материала	Механические, геомеханические, геофизические	Лабораторные, натурные испытания бетона, кернов; неразрушающие методы (пластические деформации, акустический)	Прочность, морозостойкость, водопроницаемость, статический и динамический модуль упругости, характеристики ползучести бетона; прочность скальных пород на сжатие и растяжение, модуль деформаций, параметры сопротивления пород сдвигу (φ, C); характеристики водопроницаемости ($к_ф$, q)

1.11. В процессе эксплуатации часто возникают проблемы, обусловленные непроектным состоянием плотины и основания, требующие проведения специальных исследований (геофизических, химических, механических, микробиологических и т.д.). Кроме того, в период длительной эксплуатации сооружения часть первоначально установленной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) выходит из строя.

При дооснащении КИА и составлении новой программы натурных наблюдений следует исходить из результатов оценки состояния эксплуатируемой плотины и ее элементов. Прежде всего, контролируются наиболее ослабленные части сооружения (контактная зона, напорная грань и т.д.).

Новая программа эксплуатационного контроля должна опираться на требования достаточности и представительности данных, необходимых для оперативного и объективного диагностирования состояния системы плотина-основание [4-6].

2. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1. На каждом эксплуатируемом гидроузле существует определенный объем КИА, установленный в соответствии с проектом, дооснащенный в период строительства и первых лет эксплуатации. Сложилась своя собственная система взятия отсчетов, их записи, обработки, анализа, выпуска отчетов и т.д.

Первой задачей для объективного диагноза состояния плотин является оценка достоверности и достаточности измеряемых величин.

2.1.1. Частота взятия отсчетов должна быть достаточной для получения зависимостей между изменяющимися нагрузками, воздействиями и контролируемыми параметрами. Периодичность отсчетов должна быть увязана со скоростью изменения УВБ и температуры.

2.1.2. Достоверность показаний определяется точностью измерений, обусловленной типом применяемых датчиков; погрешностью измерений, связанной с состоянием первичной и вторичной аппаратуры; ошибками операторов при ручном взятии отсчетов. Флуктуации в значениях контролируемых параметров могут быть погрешностями измерений или объективной реакцией элементов сооружения или основания на динамические воздействия.

При оценке достоверности натурных данных должна быть оценена степень их погрешностей, а при их обработке следует использовать математические методы, позволяющие выявить случайные, систематические ошибки и флуктуации, отражающие фактический отклик сооружения на нагрузки.

2.1.3. Представительность данных должна обеспечить объективность оценки процессов как в отдельных элементах сооружения, так и во всем сооружении.

Для каждого вида наблюдений существует своя минимальная выборка данных, позволяющая разграничивать локальные и общие явления для всего сооружения.

2.1.4. В случае недостаточности КИА по объему или видам наблюдений следует дооснастить ею сооружение. Новые наблюдения могут быть постоянными, временными, осуществляемыми гидроцехом или специальными организациями. Программа этих наблюдений должна обуславливаться их целью и увязываться с ранее существующими наблюдениями.

2.2. Состояние плотины неотделимо от геологической среды, в которую вписан гидроузел. В давно эксплуатируемых сооружениях не предусмотрен контроль за влиянием геологической среды на сооружение. На основе ретроспективного анализа натурных данных следует обосновать объем наблюдений за геодинамическими процессами. В случае обнаружения воздействий горных массивов на состояние плотины разрабатывается специальная программа натурных наблюдений.

2.3. Состояние натурных наблюдений на эксплуатируемых плотинах должно быть также оценено с точки зрения достаточности измеряемых параметров для контроля за устойчивостью, прочностью и долговечностью бетонной плотины.

3. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН

Принципы и этапы диагностирования

3.1. По совокупности контролируемых параметров составляются диагностические параметры или признаки. Совокупность этих признаков характеризует конкретные состояния: эпюры противодавления и фильтрационные расходы определяют фильтрационный режим; плановые перемещения различных отметок плотины фиксируют ее деформированное состояние; воронка оседания - деформирование геологической среды и т.д. (табл.2).

Таблица 2

Параметры надежной работы бетонной плотины

Контролируемые параметры	Диагностические параметры (признаки)
Планово-высотные перемещения геодезических знаков; плановые (горизонтальные) перемещения характерных точек плотины	Осадка, воронка оседания, деформации скальных массивов (крип, оползни, сближение берегов); горизонтальные перемещения тела плотины, упругая линия (прогибы)
Пьезометрические напоры; фильтрационные расходы; механический и химический составы фильтрующейся воды; температура фильтрационного потока	Фильтрационное давление в измерительных точках, эпюры противодавления в основании, швах, изопьезы; общий(суммарный) фильтрационный расход через плотину и основание, в отдельных очагах; расход твердых частиц при механической суффозии, концентрация растворимых веществ при химической
Температура	Изотермы, температурные эпюры по сечениям, глубины проникновения сезонных колебаний температуры
Напряжения (деформации) бетона, основания; напряжения в арматуре	Экстремальные значения напряжений в бетоне, арматуре, деформаций в геологической среде; распределение напряжений в теле плотины
Раскрытие межсекционных, технологических швов, трещин	Экстремальные значения раскрытия швов и трещин, глубины раскрытия; эффективность омоноличивания плотины

Диагностируемые состояния определяют степень надежности системы плотина - основание по условиям устойчивости, прочности и долговечности (табл.3).

3.2. Диагноз работы сооружений начинается с анализа действующих нагрузок по следующим признакам:

соответствие или несоответствие проектным нагрузкам по видам, значениям и сочетаниям;

интенсивность изменения нагрузок и воздействий.

3.3. Все натурные данные анализируются по характеру их изменения во времени для определения обратимой и необратимой составляющих.

3.4. По совокупности диагностических параметров, признаков и их изменения во времени выявляется фактическая схема статической работы плотины и основания, причины ее отличия от проектной схемы [7].

3.5. На основе статистических методов обработки натурных данных составляется вероятностная модель поведения плотины, определяются закономерности изменения диагностических параметров, что является базой для калибровки расчетной модели до приемлемого совпадения между натурными и расчетными данными (прямая задача, метод приближения).

3.6. На принятой расчетной модели отрабатываются все реакции системы "плотина-основание" на различные сочетания нагрузок с учетом определенных по натурным данным отклонений от проектных состояний: немонолитность профиля, раскрытие шва под напорной гранью и т.д.

3.7. Назначаются предельные значения показателей для диагностируемых состояний (устойчивость, прочность и долговечность) по конкретным диагностическим параметрам и признакам (фильтрационный режим, раскрытие швов, уровень напряжений и т.д.) (табл.3).

Диагностирование устойчивости плотины

3.8. Устойчивость бетонных плотин зависит от сочетаний действующих нагрузок, конструктивных особенностей, физико-механических свойств горных масс массивов, вмещающих гидроузел.

3.9. Анализ действующих нагрузок заключается в их сопоставлении с расчетными, выявлении нагрузок и воздействий, не предусмотренных расчетом: давления наносов, водонасыщения берегов, сближения берегов, деформирования разломов и трещин в каньоне, динамических нагрузок от транспорта, взрывов, наведенной сейсмичности и т.д.

Таблица 3

Критерии надежной работы бетонных плотин

Условия надежной работы	Диагностируемое состояние	Диагностические параметры	Критерий надежности
Прочность	Монолитность плотины	Экстремальные значения раскрытия швов и трещин, глубина раскрытия. Фильтрационные расходы через бетон, противодавление в бетоне	Предельная протяженность и величина раскрытия швов*, их обратимость. Предельные значения фильтрационных расходов*
	Напряженное состояние	Экстремальные значения напряжений, характер их распределения (эпюры) по сечениям	Предельные значения напряжений в контролируемых точках*
Устойчивость	Состояние контактной зоны	Распределение напряжений в контактной зоне бетона, экстремальных деформаций в основании, раскрытие шва «скала-бетон» под напорной гранью	Предельно допустимая зона разуплотнения*

Продолжение табл. 3

Условия надежной работы	Диагностируемое состояние	Диагностические параметры	Критерий надежности
Устойчивость	Фильтрация через основание и береговые примыкания	Эпюры противодавления в основании, по подошве плотины, в береговых примыканиях; общий фильтрационный расход через основание; эффективность работы подземного контура	Предельная (расчетная) эпюра противодавления; предельное значение фильтрационных расходов*
	Деформирование (перемещения) плотины, основания, берегов	Осадка, деформирование створа гидроузла, горизонтальные перемещения гребня и других точек плотины, упругая линия (прогибы)	Затухающий характер изменения осадки (неравномерность), перемещений
Долговечность	Состояние бетона как материала	Прочность, морозостойкость, водопроницаемость; кавитационная стойкость, износостойкость, биостойкость (зоны деструктивного бетона и выщелачивания)	Нормативные значения прочностных характеристик бетона
	Состояние плотины как конструкции (старение)	Изменение параметров, определяющих надежность плотины по условиям прочности и устойчивости	Квазистационарный характер изменения диагностических параметров

* Расчетные значения

3.10. Устойчивость плотины определяется:

фильтрационным режимом в основании и геологической среде в районе гидроузла;

деформированием геологической среды и тела плотины;

состоянием контактной зоны "скала-бетон".

3.11. Фильтрационный режим контролируется визуально и инструментально.

Визуальные наблюдения фиксируют водопроявления в бетоне и геологической среде (обходная фильтрация).

Инструментальные наблюдения состоят из измерений пьезометрических уровней и фильтрационных расходов.

3.12. Контролируемыми параметрами являются:

пьезометрические напоры в основании;

фильтрационные расходы в основании и берегах;

механический и химический состав фильтрующейся воды;

температура фильтрационного потока;

водопроявления в геологической среде.

3.13. По этим контролируемым параметрам устанавливаются диагностические параметры (признаки):

эпюры противодавления в основании и зонах сопряжений плотины с берегами;

графики изменения фильтрационных расходов через основание в отдельных точках;

графики напора;

характеристики фильтрационного потока в районе цементационной завесы и дренажа.

3.14. Совокупность диагностических признаков должна характеризовать отличие проектного фильтрационного режима от фактического и выявить основные диагностические зависимости, определяющие связь между действующими нагрузками, состоянием геологической среды, основанием и параметрами фильтрационного режима.

3.15. Деформируемость основания и геологической среды определяется контролируемыми параметрами инструментально (высотными и плановыми перемещениями геодезических марок) и визуально (появлением трещин, смещений пластов, блоков пород, выпора или провалов грунта).

3.16. По этим контролируемым параметрам составляются диагностические параметры и признаки, позволяющие определить:

размеры воронки оседания и ее изменения во времени;

деформированное состояние берегов (оползни, крип, сближение);

состояние тектонических трещин и разломов в районе гидроузла.

3.17. Свободные деформации плотины контролируются измерениями плановых перемещений гребня и точек плотины по высоте, что дает возможность в качестве диагностического параметра рассматривать упругую линию тела плотины, изменение во времени перемещения гребня и осадку основания плотины.

3.18. Состояние контактного шва скала-бетон определяется параметрами, контролирующими в отдельных точках его раскрытие, деформации (напряжения) в прискальном бетоне и скале, а также фильтрационный режим. Контролируемый параметр часто может быть и диагностическим (раскрытие шва скала-бетон по показаниям контактного тензометра, противодавление в характерных точках контакта).

Диагностирование прочности бетонной плотины

3.19. Прочность бетонной плотины оценивается:

фильтрационной прочностью;

степенью немонолитности;

напряженным состоянием;

действующими нагрузками (п.3.9).

3.20. Фильтрационная прочность плотины контролируется инструментальными измерениями противодавления в бетонной кладке и строительных швах и визуальными наблюдениями за очагами фильтрации (трещинами, швами, выходящими на стенки галерей, дренами в теле плотины).

3.21. Диагностическим параметром фильтрационной прочности плотины является противодавление в бетоне и швах, фильтрационные расходы.

3.22. Немонолитность плотины определяется визуально – трещинами и фильтрацией через них, а также инструментальными измерениями раскрытых межстолбчатых, радиальных и строительных швов.

3.23. Немонолитность плотины обусловлена температурными трещинами строительного периода, неэффективностью цементации межстолбчатых, радиальных швов, трещинами вследствие силовых воздействий (в случае непроектной работы плотины). В качестве диагностического параметра, оценивающего степень немонолитности плотины, принимаются наиболее характерные раскрытия швов и трещин в секциях (на отметках), где сезонная или постоянная немонолитность профиля вызывает заметное ухудшение напряженного состояния.

3.24. Напряженное состояние, измеряемое в высоких плотинах, является важным признаком, оценивающим соответствие их поведения проектным предпосылкам.

Параметры, контролирующие напряженное состояние, - измеряемые деформации, переводимые в напряжения.

Диагностическим параметром является эпюра напряжений по сечениям, а в случае ограниченности измерительных точек и выхода тензометров из строя - напряжение в наиболее характерной измерительной точке (с максимальным уровнем напряжения или с максимальной амплитудой его сезонного изменения).

3.25. Устойчивость и прочность, рассматриваемые в СНиП как два отдельных качества плотин тесно связаны между собой. Раскрытие швов со стороны низовой грани не только ослабляет рабочее сечение на отметке раскрытия, но провоцирует увеличение растяжения под напорной гранью плотины, что снижает ее устойчивость. Следует выявить по данным натурных наблюдений взаимосвязь между диагностическими параметрами, оценивающими устойчивость и прочность плотины.

Диагностирование долговечности плотины

3.26. Качество долговечности плотины как конструкции и бетона как материала проявляется во времени и обусловлено постепенным изменением физико-механических свойств бетона и геологической среды. Но эти процессы старения часто усиливаются последствиями нарушения технологии возведения сооружений или конструктивными просчетами.

3.27. Долговечность бетона как материала определяется изменением во времени его свойств - прочности, морозостойкости, водопроницаемости, кавитационной стойкости. По визуальным наблюдениям фиксируются деструктивные процессы - шелушение, каверны, обнажение заполнителя. По результатам испытаний кернов определяется фактическая прочность, морозостойкость, водопроницаемость. Как правило, коррозионные процессы проявляются в наружных частях сооружений, особенно в зоне переменного горизонта воды и действия знакопеременной температуры.

3.28. Долговечность плотины как конструкции обычно связана с выходом из строя отдельных элементов подземного контура - дренажа, цементационных завес. Ремонтные мероприятия, как правило, восстанавливают работоспособность противофильтрационных средств защиты.

3.29. Главный показатель долговечности сооружений - квазистационарный характер изменения всех диагностических параметров, определяющих устойчивость и прочность. При наличии необратимых процессов, ослабляющих рабочий профиль плотины, вызывающих ухудшение схемы ее статической работы, следует определить причины такого состояния, обосновать необходимость ремонтных мероприятий или эксплуатацию плотины при пониженных нагрузках.

Основы анализа натурных данных

3.30. После проверки достоверности измеренных значений натурных данных и сглаживания графика в соответствии с правилами статистической обработки строятся эпюры и изолинии. Анализ этих эпюр и изолиний производится с позиций выявления причин аномальных скачков, нарушающих плавный характер изменения измеренных значений. Расшифровка причин нарушения плавного характера эпюр - важный этап диагностики, позволяющий судить о фактической схеме работы системы плотина-основание. Так, например, резкие изменения в характере упругой линии, построенной по показаниям прямых и обратных отвесов, могут быть связаны с трещинообразованием на напорной грани. Резкие изменения напряжений по обе стороны межстолбчатого шва свидетельствуют о его раскрытии.

3.31. Следующим этапом анализа натурных данных является определение характера изменений контролируемых параметров во времени, который может быть квазистационарным, необратимым, скачкообразным, неизменным в течение длительного периода наблюдений.

3.31.1. Квазистационарный характер изменения натурных данных - показатель упругой работы плотины и основания.

3.31.2. Необратимый характер изменения контролируемых параметров обусловлен неупругой, нелинейной работой системы плотина-основание. Накапливание остаточных значений контролируемых параметров происходит с различной скоростью - затухающей, постоянной и возрастающей. Затухающий характер развития измеренных значений обычно связан с адаптацией сооружения или с постепенным переходом к другой схеме статической работы. Постоянная и возрастающая скорости накопления необратимых значений свидетельствуют об ухудшении состояния плотины или отдельных ее элементов.

3.31.3. Скачкообразное изменение измеренных параметров носит обратимый или необратимый характер. Скачкообразно и необратимо возрастают деформации при трещинообразовании, пьезометрические напоры при разуплотнении фильтрующей среды, первоначальное раскрытие шва под напорной гранью и т.д.

Обратимое резкое изменение контролируемых параметров обычно наблюдается при сезонном раскрытии конструктивных и строительных швов, расположенных у наружных поверхностей.

3.31.4. Постоянное во времени измеряемое значение параметра характеризует стабильное состояние контролируемого участка плотины или геологической среды. Так, в центре гравитационных плотин практически

не изменяется температура, напряжение; после адаптации сооружения могут стабилизироваться плановые и высотные перемещения геологической среды и т.д. Постоянное значение деформаций в бетоне может быть следствием его разгрузки после трещинообразования. Во всех случаях с неизменными значениями натурных данных необходимо анализировать первоначальный характер изменений этих данных и время перехода к постоянным значениям.

3.32. Накапливающиеся во времени необратимые явления, фиксируемые контролируемыми параметрами, должны быть классифицированы по своему происхождению:

закономерный ход развития (ползучесть бетона, адаптация сооружения и геологической среды к новым условиям);

обычно наблюдаемые явления, связанные с постепенным засорением дренажной системы, размывами цементационной завесы, изменением фильтрационного режима и т.д.; эти процессы обусловливают необратимые изменения пьезометрических напоров, фильтрационных расходов, но после проведения ремонтных мероприятий подземный контур может работать в расчетном режиме;

необратимые процессы, ухудшающие статическую схему работы, вследствие конструктивных ошибок, нарушения технологии возведения, действия нерасчетных нагрузок; диагностическими признаками таких процессов может быть трещинообразование, повышение противодавления, необратимая составляющая в перемещениях тела плотины, напряжениях, раскрытиях швов.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФАКТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ

4.1. Проектная схема работы бетонной плотины базируется на нормативных зависимостях между действующими нагрузками и реакциями на них системы плотина-основание. В соответствии с нормативными документами расчет производится для условий упругой работы сооружения монолитного профиля, при этом нормированное раскрытие швов допускается только в определенных случаях.

Условность проектной схемы работы системы плотина-основание определяется:

приблизительностью оценки свойств геологической среды;

невозможностью предусмотреть весь комплекс технологических воздействий (особенно отклонения от проектной технологии возведения) на эксплуатационное состояние плотины и основания;

допущениями, не соответствующими реальному поведению плотины (упругая работа, плоское напряженное состояние и т.д.).

4.2. Отличия фактического эксплуатационного состояния плотины и основания от предусмотренного проектом могут выражаться в неупругой работе некоторых элементов сооружения, нелинейном деформировании основания, другом температурном режиме, степени немонолитности и т.д. [8,9].

Все это требует определения фактической схемы работы сооружения, что возможно только на основании комплексного использования откорректированных расчетных схем и результатов натурных наблюдений.

4.3. На основе статистических методов анализа натурных данных (регрессионным методом, временными рядами и т.д.) создается вероятностная модель поведения плотины и основания. Достоверность модели оценивается качеством прогноза. Результаты статистических методов анализа позволяют, прежде всего, объективно установить упругий или неупругий характер работы всего сооружения или отдельных его элементов. В зависимости от этого определяются последующие этапы диагностики.

4.3.1. В случае отсутствия необратимых процессов (основные контролируемые параметры изменяются квазистационарно) составляется детерминистская модель, корректирующая проектную схему работы на основе использования уточненных физико-механических характеристик бетона и скального основания, фактических нагрузок и воздействий.

4.3.2. При наличии диагностирующих признаков (параметров), свидетельствующих о необратимых процессах (увеличении глубины раскрытия швов и трещин, противодавлении и т.д.), разрабатывается новая смешанная модель, содержащая элементы, способные реализовывать необратимые процессы.

Характер развития этих процессов определяется результатами статистического анализа натурных данных, так же выявляется роль скорости изменения нагрузки, инерционности системы плотина-основание.

4.4. Для составления смешанной модели используются следующие данные:

несплошность профиля, определяемая системой трещин температурного и силового происхождения, неэффективность омоноличивания, определяемая раскрытием конструктивных и технологических швов;

параметры зависимостей между действующими нагрузками и контролируемыми величинами, определяющими деформированное, напряженное состояния плотины и основания;

характеристика необратимых процессов (по видам контролируемых параметров, типу накопления необратимой составляющей).

4.5. Для решения смешанных моделей следует использовать принцип обратных математических моделей, заключающийся в определении обобщенных эффективных параметров модели, характеризующих реальные свойства конструкции. Так, например, производя калибровку расчетной модели по уровню реально замеренных перемещений, можно определить эффективный (или глобальный) модуль упругости конструкции. Этот параметр интегрально характеризует не только физический модуль упругости бетона, но и трещиноватость массива бетона, наличие раскрытых швов и т.д. Таким образом, можно определить также эффективный коэффициент фильтрации основания, эффективное раскрытие контактного шва и т.п.

4.6. Оценка достоверности расчетной модели проводится по качественным и количественным показателям.

4.6.1. Качественное совпадение заключается в получении на расчетной модели процессов, зафиксированных в натуре - раскрытие швов под напорной гранью, трещинообразование в теле плотины, увеличение противодавления и т.д. Качественное совпадение должно быть и в характере эпюр напряжений, перемещений.

4.6.2. Количественное сопоставление расчетных и натурных данных проводится за определенные интервалы времени из-за невозможности точно смоделировать длительный процесс технологии возведения для каждой конкретной секции или элемента сооружения. Но для выяснения причин непроектного состояния сооружения может возникнуть необходимость выполнить математическое моделирование влияния штрабленого профиля, не зацементированных межстолбчатых швов, отсутствия береговых секций и т.д. на поведение плотины, начавшей принимать гидростатическую нагрузку. Такое моделирование так же должно основываться на натурных данных.

4.7. По результатам проведенного анализа расчетных и натурных данных определяются:

особенности фактической схемы статической работы плотины;

причины непроектного поведения плотины;

прогнозная модель состояния плотины при различных сочетаниях нагрузок;

предельные состояния надежной работы плотины;

предельно допустимые значения контролируемых системой КИА показателей с указанием границ и условий их применения.

5. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ПЛОТИНА-ОСНОВАНИЕ ПО ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ И ПРИЗНАКАМ

5.1. Оценка состояния эксплуатируемой плотины является итогом сложного научно-технического процесса, состоящего из сбора, обработки, анализа натурных данных; математического моделирования фактического поведения плотины; составления прогнозной модели; выбора диагностических параметров, позволяющих определить необходимость ремонтных мероприятий, изменения эксплуатационного режима сооружения или вывода его из эксплуатации (схема 2).

5.2. Диагностические признаки должны оценивать состояние плотины качественно и количественно.

Качественная оценка определяется как по результатам визуальных (состояние бетона, геологической среды), так и инструментальных наблюдений (разуплотнение основания, сезонное раскрытие швов и т.д.).

Числовые значения диагностических параметров должны назначаться по результатам математического моделирования фактического поведения плотины при экстремальных нагрузках, вызывающих предельные нормативные состояния.

Эти числовые значения напряжений, деформаций, перемещений, получаемые расчетом при определенных сочетаниях действующих нагрузок и воздействий, не включают в себя первоначальные напряжения, деформации, перемещения, обусловленные технологическими воздействиями и, таким образом, не могут считаться предельными. Для выбора значений критериальных параметров необходимо учитывать предыдущее измеренное напряженное и деформированное состояния, которые увеличивают или уменьшают их расчетные значения.

5.3. Диагностическим признаком измеряемых в натуре параметров является характер их изменения, в соответствии с которым все данные подразделяются на две группы: параметры, оценивающие упругую работу сооружения или его элементов, и параметры с необратимой составляющей. В первую очередь анализируются данные натурных наблюдений, фиксирующие развитие необратимых процессов.

5.4. При постоянном наличии параметров с необратимой составляющей по местоположению измерительных точек, видам наблюдений определяются процессы, происходящие в эксплуатируемой плотине, которые могут быть локальными (раскрытие швов на определенных отметках и в определенных секциях) или общими для всего сооружения (трещинообразование напорной грани, разуплотнение основания в контактной зоне и т.д.). В

этом случае на основе вероятностной и смешанной моделей составляется прогноз развития необратимых явлений, их причины, и предлагаются способы восстановления упругой работы сооружения.

5.5. При переходе упругой работы сооружения к неупругой калибруется прежняя расчетная модель (детерминистская или смешанная), определяются новые предельные состояния, причины аномального поведения и принимаются решения по условиям дальнейшей эксплуатации.

5.6. Признаками, диагностирующими предаварийное состояние плотины, являются:

прогрессирующее трещинообразование в теле плотины (на напорной грани в гравитационной, контрфорсной; на напорной, низовой гранях и в береговых секциях в арочной плотине);

необратимое увеличение фильтрационных расходов;

необратимое раскрытие конструктивных и технологических швов;

необратимая составляющая в перемещениях гребня плотины и основания;

изменение эпюры напряжений и их значений в отдельных точках.

Наличие одного из этих признаков может обуславливать ослабление не только одного из элементов плотины или ее отдельной части, но и характеризовать начало ухудшения работы всей плотины.

Для объективной оценки этого изменения необходимо увеличение периодичности отсчетов по КИА и возможно проведение специальных исследований, а также принятие мер по уменьшению нагрузок на плотину, если причины изменений неочевидны.

5.7. Наиболее информативными являются диагностические параметры в виде зависимостей, устанавливающих по данным натурных наблюдений и связывающих между собой нагрузки и отдельные параметры (например, УВБ и пьезометрические напоры, температуру и раскрытие шва, противодавление в основании и раскрытие контактного шва), а также только контролируемые параметры (например, изменение напряжений в разных измерительных точках, зависимость между напряжениями и перемещениями и т.д.). При квазистационарном режиме работы плотины и основания эти зависимости будут устойчивыми характеристиками данной схемы работы. Необратимое изменение прежних зависимостей свидетельствует о переходе плотины или ее элементов к другим реакциям на нагрузки и воздействия.

5.8. Критерии надежности бывают качественные и количественные.

Качественный критерий надежного состояния сооружения определяется устойчивостью схемы его статической работы, подтверждаемой квази-

стационарным характером изменения диагностических параметров.

Количественный критерий в виде расчетных значений предельных состояний не всегда отражает исчерпание реальных резервов надежности плотины. При приближении некоторых диагностических параметров к их предельным расчетным значениям следует на основании анализа поведения плотины откорректировать расчетные схемы.

5.9. Критериальные оценки используются при определении критических значений нагрузок и воздействий, обусловливающих непроектное состояние плотины. Например, сочетание НПУ с конкретным температурным воздействием является причиной недопустимого раскрытия швов или трещинообразования; высокое противодавление вызывает раскрытие контактного шва под напорной гранью и т.д.

5.10. Для реализации программы экспертных оценок как конечного результата анализа натурных и расчетных данных следует пользоваться современными информационными и аналитическими технологиями.

Своевременный и оперативный анализ состояния плотины должен обеспечить ее работоспособность и путем принятия неотложных мер предотвратить ее переход в неработоспособное, предельное состояние.

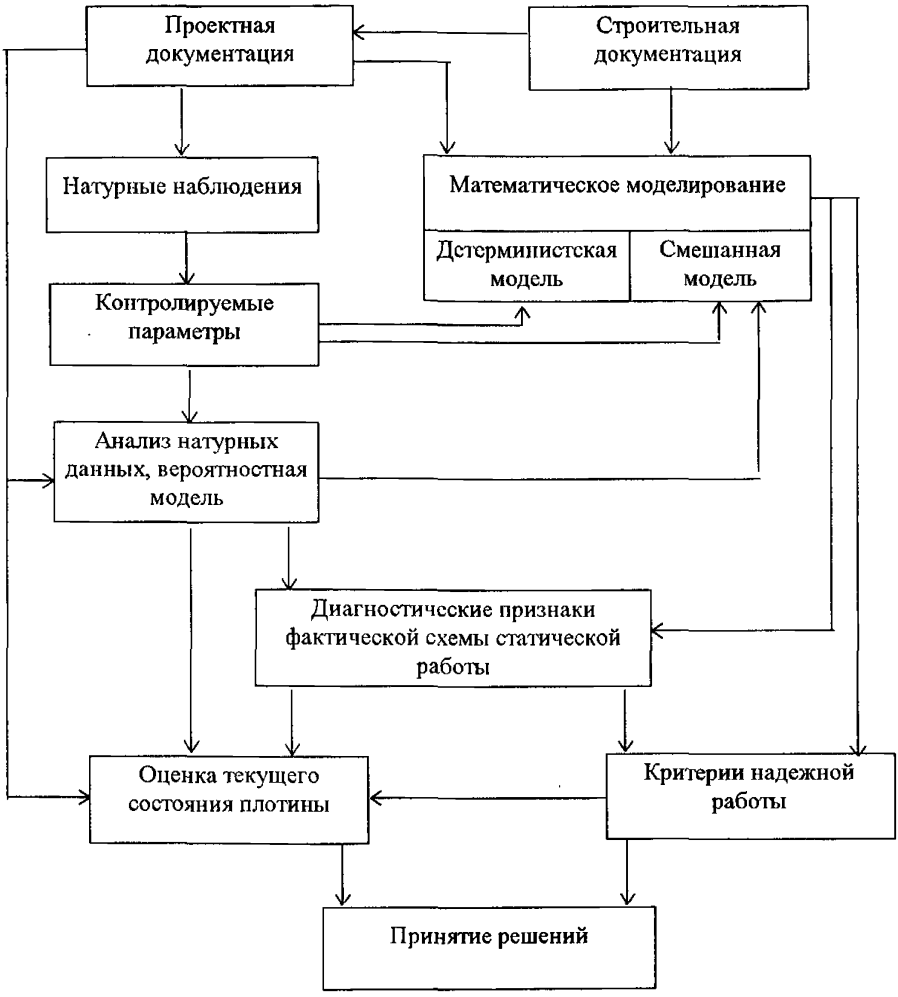

Схема 2. Диагностика надежной работы бетонных плотин

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **СНиП 2.06.06-85.** Плотины бетонные и железобетонные. - М. ЦИТП Госстроя СССР, 1986.

2. **СНиП 2.02.02-85.** Основания гидротехнических сооружений. - М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1988.

3. **Правила** технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации: РД 34.20.501-95. 15-е издание, переработанное и дополненное. - М., 1996

4. **Рекомендации** по наблюдениям за напряженно-деформированным состоянием бетонных плотин: П 100-81/ВНИИГ. - Л. 1992.

5. **Рекомендации** по определению предельно допустимых значений показателей состояния и работы гидротехнических сооружений: П-836-85/Гидропроект. - М., 1985.

6. **Александровская Э.К**. О контроле за высокими бетонными плотинами во время их возведения и эксплуатации // Гидротехническое строительство.—1989, №12.- С.33-37.

7. **Дурчева В.Н., Пучкова С.М.** Влияние немонолитности профиля бетонных плотин на их статическую работу по данным натурных наблюдений // Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева.- 1986.- Т.191.- С.43-51.

8. **Дурчева В.Н., Пучкова С.М.** К вопросу о выборе параметров, контролирующих надежную работу бетонных плотин // Гидротехническое строительство.- 1990, №9.- С.5-8.

9. **Дурчева В.Н.** Натурные исследования монолитности высоких бетонных плотин.- М.: Энергоатомиздат, 1988.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
1. Общие положения 4
Назначение рекомендаций и область применения 4
Цель и задачи рекомендаций 4
Организация и состав наблюдений 5
2. Оценка состояния натурных наблюдений 9
3. Диагностирование работоспособности бетонных плотин 10
Принципы и этапы диагностирования 10
Диагностирование устойчивости плотины 12
Диагностирование прочности бетонной плотины 16
Диагностирование долговечности плотины 17
Основы анализа натурных данных 18
4. Определение фактической схемы статической работы бетонной плотины 19
5. Оценка состояния системы плотина-основание по диагностическим параметрам и признакам 22
Список литературы 26

Редактор *Т.С. Артюхина*
Корректор *Т.М. Бовичева*
Компьютерная верстка *Т.В. Филиповская*

Лицензия ЛР № 020629 от 14.01.98.
Подписано к печати 11.09.2001. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Печ.л. 1,75. Тираж 300. Заказ 165.

Издательство и типография ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».
195220, Санкт-Петербург, Гжатская ул., 21.

gost.e-ecolog.ru