

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени В.И. Вернадского»**  
(ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»  
**АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**  
**ФАКУЛЬТЕТ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Кафедра Природообустройства и водопользования

ЧКИ ЭЛЬВИРА ЭНВЕРОВНА

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ  
ВОДОПОДПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
(НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ)**

Выпускная квалификационная работа

Обучающегося	2 курса
Направления подготовки	20.04.02. «Природообустройство и водопользование»
Форма обучения	очная

Научный руководитель:  
д.т.н., профессор

Ветрова Н. М.

К ЗАЩИТЕ ДОПУСКАЮ:  
Зав. кафедрой  
природообустройства и  
водопользования, к.т.н., доцент

Захаров Р.Ю.

Симферополь, 2018



# АННОТАЦИЯ

## К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

Чки Эльвиры Энверовны

Тема ВКР: «Совершенствование системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (на примере Республики Крым)».

Магистерская работа включает введение, пять разделов, заключение, список использованных источников, приложение в объеме 108 страниц основного текста, 26 рисунков, 30 таблиц, 31 использованных источников.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения (ГТС), безопасность, надежность, эксплуатация, мониторинг, состояние ГТС.

Цель – совершенствование системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений на основе обоснования периодичности проведения наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений для обеспечения их безопасной эксплуатации и предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций. Решены задачи: систематизированы научные подходы к осуществлению мониторинга состояния водоподпорных ГТС; проведен анализ действующей системы мониторинга состояния водоподпорных ГТС; выявлены особенности факторов эксплуатации водоподпорных ГТС и уточнены их параметры, влияющие на периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС; разработана методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС; проведена апробация методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС Республики Крым.

Теоретическое значение ВКРМ: разработан методический подход при обосновании периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС на основе учета факторов «конкретные условия», «режим работы водохранилища», «срок эксплуатации» и «степень сложности эксплуатации» водоподпорных ГТС.

Практическое значение – результаты исследований могут быть применены проектными и эксплуатирующими организациями при обосновании периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС в составе системы мониторинга безопасности ГТС.

ВКРМ выполнена по заказу Государственного бюджетного учреждения Республики Крым «Крымское управление водного хозяйства и мелиорации».

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Аналитический обзор.....	11
1.1 Особенности обеспечения безопасности гидротехнических сооружений и анализ причин ее нарушения.....	11
1.2 Теоретические основы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений на стадии их проектирования, строительства и эксплуатации.....	16
1.3 Анализ современных подходов к осуществлению мониторинга водоподпорных гидротехнических сооружений.....	21
1.4 Выводы по главе 1.....	36
2 Система мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений в Республике Крым.....	38
2.1 Особенности проведения визуальных наблюдений в составе системы мониторинга за состоянием водоподпорных гидротехнических сооружений.....	42
2.1.1 Наблюдения за состоянием и деформациями земляных сооружений.....	44
2.1.2 Наблюдения за деформациями облицовок и креплений грунтовых плотин.....	46
2.1.3 Наблюдения за фильтрацией через тело, основание и в обход земляных сооружений.....	47
2.1.4 Наблюдения за состоянием бетонных, железобетонных и металлических конструкций.....	49
2.2 Особенности проведения инструментальных наблюдений в составе системы мониторинга за состоянием водоподпорных гидротехнических сооружений.....	53

2.2.1 Наблюдения за деформациями сооружений.....	53
2.2.2 Наблюдения за фильтрационным режимом.....	55
2.2.3 Измерение уровней воды в пьезометрах и расходов фильтрационных вод. Обработка данных наблюдений.....	57
2.2.4 Наблюдения за состоянием бетонных и железобетонных сооружений.....	59
2.3 Состав и календарные сроки проведения наблюдений.....	65
2.4 Выводы по главе 2.....	67
3. Характеристика факторов, влияющих на особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений.....	68
3.1 Конкретные условия.....	68
3.2 Режим работы водохранилища.....	71
3.3 Срок эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений	73
3.4 Степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений.....	75
3.5 Выводы по главе 3.....	77
4. Методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений.....	78
4.1 Общие положения.....	78
4.2 Процедура определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений.....	79
5 Апробация методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС в отношении водоподпорных ГТС Республики Крым.....	87

5.1	Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища.....	87
5.2	Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища.....	92
5.3	Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Белогорского водохранилища.....	97
	ВЫВОДЫ.....	102
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	104
	ПРИЛОЖЕНИЕ.....	108
	Приложение А.....	108

## ВВЕДЕНИЕ

По оценке специалистов в сфере водопользования, гидротехнические сооружения (ГТС) и образуемые ими водохранилища имеют большое значение для любой территории, в том числе для Республики Крым. Они относятся к числу инженерных объектов, которые являются сложными и ответственными с точек зрения влияния на экономическую, экологическую и социальную сферы жизни. Систематические нарушения эксплуатационного состояния гидротехнических сооружений различных видов приводят к авариям, по которым материальные, экологические и социальные ущербы являются непредсказуемыми.

«Порядка 52 тыс. высоких плотин из числа построенных во всем мире были возведены в XX веке, в том числе 37,4 тыс. за период с 1950 г. Это на порядок больше, чем за все предшествующие 5000 лет. В настоящее время с помощью водохранилищ зарегулировано более 8-10 тыс. км<sup>3</sup> речного стока из общего объема 38,3 тыс. км<sup>3</sup>. Накопленный в водохранилищах сток используется для орошения 270 млн. га сельскохозяйственных угодий, производства 2 460 млрд. кВт.ч. энергии (18,5 %) всей потребляемой энергии, в том числе в России 167 млрд. кВт.ч, защиты от паводков, обеспечения потребностей в технической и питьевой воде, создания зон отдыха и судоходства на раннее несудоходных частях рек. В пяти наиболее развитых странах мира находится  $\frac{3}{4}$  общего числа плотин, из которых 79% имеют высоту менее 30 м и только 1% выше 100 м (преимущественно энергетического назначения)» [20, с.33].

На основе анализа крупных аварий на гидротехнических сооружениях, приведших к катастрофическим последствиям, произошедших за последние годы в разных странах мира, можно сделать вывод, о том, что одним из главных факторов их возникновения следует считать ошибки персонала при эксплуатации гидротехнических сооружений, когда недостаточный уровень подготовки служб эксплуатации является недостаточным для локализации аварийных ситуаций. «Около 50% аварий и связанных с ними чрезвычайных

ситуаций, являются результатом низкой квалификации эксплуатационного персонала, неправильной организацией работ, нарушения норм и правил безопасности гидротехнических сооружений при проектировании, строительстве и эксплуатации, а также неэффективного надзора за их безопасностью» [20, с.32].

Комплекс указанных проблем при эксплуатации гидротехнических сооружений позволяет сделать вывод о целесообразности проведения исследований по обеспечению исправной и безотказной работы конкретных гидротехнических сооружений.

В период проектирования ГТС предусматриваются мероприятия, обеспечивающие безопасность и надежность сооружений и в период строительства, и дальнейшей эксплуатации. Однако, совершенство принятых проектных решений в соответствии с новейшими достижениями науки и техники не дает уверенности в безаварийной работе гидротехнического сооружения. Для этого его эксплуатация должна быть технически правильной и рациональной для максимального использования всех идей, заложенных в проекте, и обеспечения высокой надежности и безопасности всех элементов и систем гидротехнических сооружений.

Все вышеперечисленное свидетельствует о необходимости четкой организации мониторинга состояния сооружений, повышения профессиональных знаний эксплуатирующего персонала, практических навыков и ответственности обслуживающего ГТС персонала, оперативного контроля по предупреждению и локализации аварийных ситуаций эксплуатирующими, строительными, проектными организациями и органами государственного надзора.

Целью данной выпускной квалификационной работы является совершенствование системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений на основе обоснования периодичности проведения наблюдений за состоянием водоподпорных гидротехнических



сооружений для обеспечения их безопасной эксплуатации и предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций.

Задачи исследования:

1. Систематизировать научные подходы к осуществлению мониторинга состояния водоподпорных ГТС.

2. Проанализировать действующую систему мониторинга состояния водоподпорных ГТС для выявления характеристик этой системы.

3. Выявить особенности факторов эксплуатации водоподпорных ГТС и уточнить их параметры, влияющие на периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния ГТС.

4. Разработать методику определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений

5. Провести апробацию методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС на водоподпорных ГТС Республики Крым.

Объект исследования – состояние водоподпорных гидротехнических сооружений.

Предмет исследования – система мониторинга состояния эксплуатируемых водоподпорных гидротехнических сооружений.

Методы исследования: системный подход, анализ, синтез (обобщение), статистический метод обработки данных.

Для решения поставленных цели и задач в выпускной квалификационной работе исследование представлено в виде следующих глав:

Глава 1 – аналитический обзор, в котором рассмотрены научные подходы и нормативная база к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений.

Глава 2 – анализ действующей системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений в Республике Крым.

Глава 3 –исследования системы факторов (параметров) эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений, которые влияют на проведение наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений.

Глава 4 – представлена разработанная методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений в зависимости от определенных в главе 3 факторов и параметров

Глава 5 –апробация разработанной методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений на примере водоподпорных гидротехнических сооружений Республики Крым.

Объем выпускной квалификационной работы – 5 глав на 91 странице, в том числе рисунков – 26, таблиц – 30, список источников в количестве 31 на 4 страницах, приложение на 7 страницах.

## 1 Аналитический обзор

### 1.1 Особенности обеспечения безопасности гидротехнических сооружений и анализ причин ее нарушения

В настоящее время особое внимание уделяется вопросам безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, что связано с возрастанием возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях, сопровождающихся значительным ущербом социального, экономического и экологического характера. Поэтому появляется необходимость пересмотра и уточнения существующих подходов к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, как на стадии их проектирования и строительства, так и при эксплуатации. При этом отдельной задачей выделяются наблюдения (мониторинг) за состоянием гидротехнических сооружений.

«Мониторинг состояния гидротехнических сооружений (ГТС) проводится с целью своевременного выявления дефектов и неблагоприятных процессов на гидротехническом сооружении, планирования его ремонтов, предотвращения аварий, оценки безопасности гидротехнического сооружения и риска аварий» [19].

«Безопасность гидротехнических сооружений (БГС) – это свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов» [22, с.1]. Иными словами, БГС это такое состояние гидротехнического сооружения, удовлетворяющее всем требованиям проектной, технической и эксплуатационной документации, законодательной и нормативной баз по вопросам безопасности гидротехнических сооружений, а также исключаящее ущерб людям и окружающей среде в процессе эксплуатации ГТС.

Анализ возникающих в мире аварий и повреждений гидротехнических сооружений, повлекших за собой какой-либо ущерб, показывает, что не

существует совершенных подходов, позволяющих полностью исключить возникновение чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях и прилегающих к ним территориях.

Опыт эксплуатации плотин показывает, что самыми надежными являются бетонные плотины, следующие по надежности плотины – каменно-земляные (приблизительно в 3 раза менее надежны). Статистические данные по частоте возникновения аварий на плотинах разных типов приведены в таблице 1.1 и по частоте причин возникновения аварий ГТС – в таблице 1.2.

Таблица 1.1 - Частота аварий для различных типов плотин [20]

Тип плотины	Аварии, %
Земляная плотина	53
Защитные дамбы из местных материалов	4
Бетонная гравитационная	23
Арочная железобетонная	3
Плотины других типов	17
ВСЕГО:	100

Таблица 1.2 – Частота различных причин аварий гидротехнических сооружений, сопровождающихся образованием волны прорыва [20]

Причина аварии	Частота, %
Разрушение основания	40
Недостаточность пропускной способности водосбросов	23
Конструктивные недостатки	12
Неравномерная осадка	10
Высокое пороговое (капиллярное) давление в намывтой плотине	5
Военные действия	3
Сползание откосов	2
Дефекты материалов	2
Землетрясения	1
Неправильная эксплуатация	2
ВСЕГО:	100

Согласно данным Международной комиссии по большим плотинам, на гидроузлах во всем мире происходит около 3 тысяч аварий каждый год. Из них значительное число повреждений происходит именно в период прохождения катастрофических сверхвысоких половодий и паводков. Связано это с недостатками решений, принятых в период проектирования ГТС, при пропуске экстремальных расходов, а также вследствие неправильной работы эксплуатационных служб. Поэтому чрезвычайные ситуации, возникающие при прохождении через водоподпорные гидротехнические сооружения сверхрасчётных расходов воды и заниженных размерах водосбросных сооружений, являются наиболее опасными и приводят к самым тяжелым последствиям. «Например, на построенной в 1924 г. плотине Зербино в Италии, высотой 16,5 м, максимальный расход водосброса составлял 700 м<sup>3</sup>/с, а наибольший измеренный расход – не более 400 м<sup>3</sup>/с. В августе 1935 г. был зафиксирован приток воды к водохранилищу в количестве 2200 м<sup>3</sup>/с (повторяемость – 1 раз в 200 000 лет), слой переливающейся через гребень плотины воды достигал 2,2 м. На гидроузле Ринкон-дель-Боннет (Уругвай) в 1959 г. был отмечен паводок повторяемостью 1 раз в 5000 лет»[20, с.33].

Перелив воды через гребень плотины может быть связан и с техническими причинами – отказом затворов водосбросных сооружений, отсутствия профилактики, периодической проверки их на работоспособность, а также из-за прекращения подачи электроэнергии. «Треть случаев разрушения грунтовых плотин вызвано переливом воды через гребень из-за отказов в работе затворного оборудования. Так, из-за отсутствия подачи электроэнергии к механизмам управления затворами водосборов в 1958 году был разрушен участок плотины Кадда в Индии длиной 137 м при высоте переливающегося слоя воды в 45 м. 7 августа 1994 г. в России произошла авария на плотине Тирлянского водохранилища (высотой 9,9 м и объемом 7 млн. м<sup>3</sup>) в бассейне р. Белой, когда после интенсивных дождей, вследствие изношенности механизмов и заваренных для прочности затворов, не смогли открыть все отверстия берегового водосброса (работало только одно из них), и произошел

перелив вода через гребень земляной плотины. Плотина была разрушена в течение нескольких часов, семиметровая волна прорыва снесла пос. Тирлян» [20].

Разрушения отдельных элементов водосбросов и размывов в нижних бьефах может также ограничить пропуск расчетных расходов и привести к переливу воды через плотину.

2 июля 1992 года произошел прорыв напорного фронта каменно-земляной плотины Курейской ГЭС вследствие суффозионных нарушений фильтрационной прочности контакта ядра плотины со скальным основанием. Для ликвидации аварии была создана 94 метровая противофильтрационная стена [20].

Таким образом, возникновению аварий на водоподпорных гидротехнических сооружениях предшествуют не только природные факторы, но и несвоевременно обнаруженные нарушения состояния ГТС.

В таблице 1.3 перечислены виды аварий, их характеристики и последствия, а также факторы, от которых зависит возникновение аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях. Стихийные и антропогенные факторы, сопутствующие процессы и явления, усиливающие или ослабляющие катастрофы способны привести к нарушению эксплуатационного режима гидроузла и вызвать их разрушение. «Перечисленные природные факторы риска вызываются климатическими процессами, проявляющимися в виде кратковременных и опасных метеорологических явлений (ураганов, ливней, снегопадов, смерчей и т.д.), и в виде периодически повторяющихся или однонаправленных, долговременных изменений климата» [20, 34].

Таблица 1.3 – Систематизация факторов и характеристик видов аварий на гидротехнических сооружениях

Вид аварии	Характеристика аварии	Последствия	Факторы риска
Сверхнормативный сброс воды	Превышение расчетных значений для водосбросных сооружений с образованием волны прорыва	Образование волн прорыва, затопление и подтопление территорий в нижнем бьефе; опорожнение водохранилищ; вытеснение воды из водохранилищ при оползнях и обвалах, заполнение их наносами;	Стихийные: экстремальный сток, ледовые явления, нагоны, опасные метеорологические явления (бури, ураганы, ливни, снегопады, смерчи и т.д.), долговременные изменения климата, землетрясения, цунами, оползни, обвалы, снежные лавины и сели, подвижки ледников, вулканическое извержение.
Перелив через гребень плотины			
Повреждение или размыв тела плотины и береговых сооружений	Образование прорана в теле сооружения, от величины которого зависит характеристика волны прорыва	разрушение гидротехнического сооружения	Антропогенные: ошибки проектирования, несоблюдение строительных норм и правил эксплуатации сооружений, непрофессионализм, некомпетентность, халатность обслуживающего персонала, военные действия, террористические акты.
Нарушение устойчивости или чрезмерные перемещения сооружений	Превышение допустимых значений усадок и смещений сооружения		
Неисправность, повреждение технологического оборудования	Нарушение функционирования технологического оборудования в процессе эксплуатации		
Нарушение фильтрационной прочности различных частей гидроузла	Изменение характеристик фильтрационных потоков через тело сооружения, основание и в местах сопряжения тела сооружения с берегами, фильтрация в обход противофильтрационных сооружений,	Увеличение потерь на фильтрацию и нарушение устойчивости сооружений	

Таблица составлена автором на основе [20]

На основании вышеперечисленного возникает острая необходимость сведения риска возникновения чрезвычайной ситуации на водоподпорных гидротехнических сооружениях к минимуму. Решение этой задачи должно быть обеспечено, как при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений, так и при их эксплуатации. Особое внимание в период эксплуатации должно уделяться мониторингу за состоянием водоподпорных ГТС для принятия своевременных мер для предотвращения аварий.

## 1.2 Теоретические основы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений на стадии их проектирования, строительства и эксплуатации

Теоретические основы обеспечения эксплуатационной надежности, долговечности и безопасности гидротехнических сооружений рассматривали в своих трудах Розанов Н. П., Бочкарев Я. В., Лапшенков В. С., Волков И. М., Замарин Е. А., Чугаев Р. Р., Гришин М. М., Васильев И. А., Журавлев Г. И., Корюкин С. Н., Гольдин А. Л., Моисеев С. Н., Моисеев И.С. и др. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 16, 21, 24, 29, 30, 31]. В трудах этих авторов подробно описываются особенности проектирования и строительства гидротехнических сооружений в зависимости от оказываемых на них воздействий

«Надежность – это свойство сооружения, которое характеризует его способность выполнять требуемые функции при установленных режимах и условиях их эксплуатации в течение заданного периода времени» [20, с.14].

«Долговечность – способность сооружения не достигать предельного состояния при заданных условиях в течение срока службы» [20, с.14].

Гришин М. М. в [4, 5] обобщил теоретические основы проектирования гидротехнических сооружениях с учетом влияния природных факторов – сейсмических, геологических, гидрологических, температурных и др. и зависимость от этих факторов принятых проектных решений. Отдельную главу Гришин М. М. посвятил особенностям и задачам периода эксплуатации,



ремонта и реконструкции гидротехнических сооружений, в которой описал также и походы к мониторингу состояния гидротехнических сооружений.

По Гришину М. М. основными показателями правильной эксплуатации гидротехнических сооружений являются параметры конструктивной надежности (устойчивость, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость и др.), технологические параметры (напор, расход водообеспечения и др.), факторы архитектурного соответствия назначению сооружения (форма конструкции, цвет, освещение, и пр.), параметры экономичности возведения и эксплуатации (стоимость укладки  $1 \text{ м}^3$  бетона или грунта, процент армирования бетона, стоимость  $1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии или  $1 \text{ м}^3$  воды и др.) [5, с. 285].

Уже на стадии проектирования при расчетах гидротехнических сооружений на устойчивость, прочность, фильтрацию и т. п. должна закладываться надежность. «При разработке проекта проверяется соответствие материалов, конструкций и сооружений в целом параметрам его конструктивной надежности, технологическим параметрам, экономичности строительства и эксплуатации сооружения, архитектурным требованиям и т. п.» [5, с. 285, 286].

На стадии проектирования гидротехнических сооружений необходимо соблюдение обязательных требований законодательных и нормативных актов, а также тщательная экспертная оценка принятых проектных решений для обеспечения безопасности и надежности сооружений на всех стадиях их строительства и дальнейшей эксплуатации.

На стадии строительства необходимо проводить контроль строительно-монтажных работ и проверку максимального соответствия их проекту, так как даже незначительные отступления от проектных решений могут способствовать развитию процессов и явлений, которые сократят проектный срок службы гидротехнических сооружений из-за их проявления только в процессе эксплуатации. Ведение контроля качества возводимых конструкций и устанавливаемого оборудования, надзор за установкой контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), приемка сооружения в эксплуатацию на

основе действующего законодательства является также неотъемлемой частью обеспечения надежности, долговечности и безопасности ГТС.

Стадия эксплуатации для гидротехнических сооружений, как и для любых других сооружений, является основной и самой продолжительной. Именно на стадии эксплуатации происходит большинство аварий на гидротехнических сооружениях. Причинами таких аварий могут быть не только превышения проектных значений нагрузок на сооружения, нарушения режимов их эксплуатации, но и низкая квалификация эксплуатационного персонала, неправильная организация работ, а также неэффективный надзор за безопасностью гидротехнических сооружений. Для предупреждения аварийных ситуаций в этот период проводится контроль и наблюдения за состоянием и условиями работы сооружений и входящего в их состав оборудования. Могут приниматься меры против возможных нарушений правильной работы сооружений, входящих в состав гидроузла (во время паводка, землетрясения и т. д.). Ремонтные работы по ликвидации дефектов, повреждений и аварий, разработка мероприятий по увеличению эффективности использования водотока, например, путем реконструкции ГТС и их оборудования, необходимость проведения специальных исследований и объем наблюдений также входят в состав комплекса мер по предупреждению аварий на ГТС [5, с. 287].

В [26] Кавешниковым Н. Т. рассмотрена структура службы эксплуатации водохозяйственных объектов, ее задачи и условия работы гидротехнических сооружений, факторы, влияющие на их надежность и долговечность, однако в современных условиях требуется корректировка методов и методик, применяемых при эксплуатации ГТС.

Кавешников Н. Т. писал, что визуальные наблюдения за гидротехническими сооружениями «позволяют получить предварительное впечатление о работе сооружений, поэтому они проводятся на сооружениях всех классов капитальности и являются составной частью натуральных наблюдений за ними. На их основе намечается состав последующих

инструментальных исследований. Визуальные наблюдения выполняют путем осмотра сооружений и их элементов в соответствии с инструкциями, составленными для этой цели. Обнаруженные дефекты, отклонения, нарушения заносят в журнал визуальных наблюдений. В нем должны указываться дата, местонахождение и привязка обнаруженных дефектов, характеристика, размеры, предполагаемая причина обнаруженных отклонений, эскиз или зарисовка, принятые меры и предложения. Визуальные наблюдения обычно проводят техники-гидротехники или регулировщики, специально обученные и проинструктированные опытные работники. Все результаты визуальных наблюдений подписывает наблюдатель (регулировщик), поэтому при вступлении в должность он принимает сооружение по акту с указанием в нем фактического состояния сооружения на период приемки. При нарушении этого положения в дальнейшем обычно трудно установить причину несвоевременных мер, принятых для устранения повреждений, а иногда и существенных разрушений. Дефекты, замеченные наблюдателем, наносятся на специально подготовленную схему с применением условных обозначений. О возникших повреждениях или отклонениях от нормальной работы элементов сооружений наблюдатель обязан незамедлительно докладывать своему руководителю подразделения службы эксплуатации.» [14, с. 28].

Инструментальные наблюдения выполняются эксплуатационным персоналом по графику, составленному проектной организацией и заключаются в систематическом замере показаний КИА.

Исследования проводят для более глубокого изучения отдельных вопросов эксплуатации гидротехнических сооружений с привлечением научно-исследовательских и проектных институтов.

Результаты осмотров, наблюдений и исследований служат для диагностики (распознавания) состояния сооружений, конструкций или оборудования, выявления их повреждений, анализа признаков и причин повреждений, для обоснования ремонтных работ, модернизации и реконструкции сооружений [5, с.287-288].

«Систематические наблюдения в период эксплуатации ведутся» [5, с. 288]:

1) «за осадками и деформациями (смещениями) сооружений и их частей, оснований, откосов, берм, склонов и берегов в районе сооружения и водохранилища (с признаками оползней, обвалов, осыпей и пр.)»;

2) «за воздействием открытого потока воды на сооружение и его элементы, дно и берега русла в верхнем и нижнем бьефе (за уровнями и расходами воды, волнами, размывами и отложениями наносов, кавитационными разрушениями, аэрацией и т.п.)»;

3) «за фильтрацией через сооружения, основания и берега (за уровнями, расходами и давлениями фильтрационных вод, работой швов, противофильтрационных и дренажных устройств, возможной суффозией в земляных сооружениях и основаниях, выщелачиванием бетона и скальных пород оснований и т. п.)»;

4) «за напряжениями, пульсационными динамическими нагрузками, вибрацией сооружений и их элементов»;

5) «за температурным режимом сооружения, водохранилища и нижнего бьефа (температурами, ледовыми воздействиями, образованием шуги и обледенением сооружений и пр.)».

Наблюдения за бетонными водоподпорными ГТС, их элементами и качеством бетона проводятся визуально на наличие сколов, трещин, раковин, признаков фильтрации, выщелачиванием бетона и пр., простукиванием для обнаружения пустот, отслоения и прочности бетона, выбуриванием кернов и по удельному водопоглощению пробуренных скважин для уточнения прочности и обнаружения фильтрации, или прозвучиванием бетона методами ультразвуковой дефектоскопии [5, с. 288].

При наблюдениях за земляными сооружениями должны обследоваться крепления откосов, дренажные системы, места сопряжения земляных и бетонных сооружений (осадки и деформации, наличие и интенсивность

контактной фильтрации и суффозионных явлений), положение депрессионной кривой [5, с. 288-289].

При наблюдении за металлическими конструкциями, облицовками сооружений, пазовыми конструкциями затворов и т. п. должно оцениваться состояние их поверхностей (появление абразивных, кавитационных и коррозионных разрушений, обрастание микроорганизмами и пр.). Подводные части сооружений обследуются водолазами с определенной проектом периодичностью [5, с. 289].

### 1.3 Анализ современных подходов к осуществлению мониторинга водоподпорных гидротехнических сооружений

Для обеспечения безопасности гидротехнических сооружений исходят из методик мониторинга состояния гидротехнических сооружений, который регламентируется законодательно. Так согласно Федеральному закону Российской Федерации от 21 июля 1997 года №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» в состав общих требований по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений входит оснащение гидротехнических сооружений техническими средствами в целях постоянного контроля (мониторинга) за их состоянием. Статья 9 данного Федерального закона вменяет в обязанности собственника и эксплуатирующей организации «обеспечивать контроль (мониторинг) за показателями состояния гидротехнического сооружения, природных и техногенных воздействий и на основании полученных данных осуществлять оценку безопасности гидротехнического сооружения, в том числе регулярную оценку безопасности гидротехнического сооружения и анализ причин ее снижения с учетом работы гидротехнического сооружения в каскаде, вредных природных и техногенных воздействий, результатов хозяйственной и иной деятельности, в том числе деятельности, связанной со строительством и с эксплуатацией объектов на водных объектах и на прилегающих к ним территориях ниже и выше

гидротехнического сооружения» [22]. Обеспечение проведения регулярных обследований ГТС, а также модернизация систем контроля состояния гидротехнического сооружения входит в обязанности собственника ГТС и эксплуатирующей организации [22].

Целью системы мониторинга является предотвращение чрезвычайных ситуаций (природных, техногенных, биолого-социальных и чрезвычайных ситуаций в результате применения современных средств поражения: ядерного, бактериологического и других специальных средств поражения). Так, ГОСТ 22.1.01—97/ГОСТ Р 22.1.01-95 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения» [10] обозначает состав системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций. В рамках данного нормативного документа «основными элементами системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций являются организационная структура, общая модель системы, включая объекты мониторинга, комплекс технических средств, модели ситуации (модели развития ситуаций), методы наблюдений, обработки данных, анализа ситуаций и прогнозирования и информационная система» [10]

«Организационная структура системы мониторинга в общем случае должна включать в себя: орган управления системы мониторинга соответствующего уровня (глобального, национального, регионального, местного, локального); службу наблюдения и контроля (совокупность постов, станций наблюдения и контроля); службу сбора и обработки информации и выработки рекомендаций по комплексу мероприятий, направленных на предупреждение возникновения ЧС или уменьшения их вредного воздействия на окружающую среду и человека; службу технического обеспечения деятельности системы» [10].

Комплекс технических средств должен обеспечивать осуществление измерения требуемых параметров и обладать необходимой для оценки состояния окружающей среды точностью, достоверностью, оперативностью,

уровнем автоматизации (в соответствии с моделью ЧС) для достижения поставленных целей наблюдения и контроля [10].

Описание наблюдаемых процессов, явлений и перечень наблюдаемых параметров, значения наблюдаемых параметров, принятых в качестве нормальных, допустимых и критических, разделение режима наблюдений на непрерывный или периодический, точность измерений наблюдаемых параметров, следование установленным правилам (алгоритмам) обработки результатов наблюдений и формам их представления являются обязательными составляющими методов наблюдения и контроля в системе мониторинга [10].

В Российской Федерации мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений и их оснований как потенциальных источников техногенной чрезвычайной ситуации осуществляется на основании Государственного стандарта Российской Федерации ГОСТ Р 22.1.11-2002 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования» [11].

Мониторинг состояния водоподпорных ГТС осуществляется для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС, безопасности населения и территорий, находящихся в непосредственной близости к нижним и верхним бьефам плотин и должен включать: «регулярные взаимоувязанные контрольные наблюдения за состоянием ГТС, их оснований, береговых сопряжений в нижнем и верхнем бьефах; сбор, накопление и хранение данных наблюдений; создание и ведение базы данных наблюдений; сопоставление измеренных значений диагностических показателей состояния ГТС с их критериальными значениями; оперативную оценку состояния ГТС, их оснований и береговых сопряжений; информирование органов, заинтересованных в безаварийном состоянии ГТС на местном (локальном), региональном (территориальном) и федеральном уровнях» [11].

«Критерии безопасности ГТС – предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнических сооружений и условий их эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии, утвержденные в установленном порядке органами исполнительной власти, осуществляющими государственный контроль за безопасностью ГТС» [20].

Понятия критериев состояния ГТС «К1» и «К2» заключаются в следующем [20].

«К1 – первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность ГТС и его основания, а также пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений еще соответствуют нормальным условиям эксплуатации» [20].

«К2 – второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима» [20].

К основным показателям состояния водоподпорных ГТС контролируемых в процессе осуществления мониторинга, [11] относят показатели нагрузок и воздействий на ГТС, показатели состояния водоподпорных ГТС и развития опасных процессов в грунтах. Состав, наименование и способы измерения показателей состояния ГТС, контролируемых в процессе мониторинга по [11], приведены в приложении А (таблица А.1).

Свод правил СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003» [26] еще на стадии проектирования гидротехнических сооружений предусматривает разработку раздела, посвященного натурным наблюдениям за работой сооружений и их состоянием в процессе строительства, при эксплуатации, реконструкции и ликвидации. По натурным наблюдениям должны быть разработаны структурная схема и технические решения системы мониторинга состояния сооружений, природных и техногенных воздействий на них по ГОСТ



31937-2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния» [26].

Раздел, посвященный натурным наблюдениям, согласно пункту 4.11 [26], должен включать:

- перечень контролируемых нагрузок и воздействий на сооружение;
- перечень контролируемых и диагностических показателей состояния сооружения и его основания, включая критерии безопасности;
- программу и состав инструментальных и визуальных наблюдений; технические условия и чертежи на установку контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), спецификацию измерительных приборов и устройств;
- инструкции и методические рекомендации по проведению натурных наблюдений за работой и состоянием сооружений.

На стадии эксплуатации гидротехнического сооружения обязательным требованием для обеспечения безопасной эксплуатации ГТС является также организация постоянного и периодического контроля (осмотров, технических освидетельствований, обследований) технического состояния сооружения [26].

«Методика оценки уровня безопасности гидротехнических сооружений» [28] разработанная ОАО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений» как стандарт организации, предлагает перечень факторов безопасности в виде иерархической структуры в соответствии с рисунком 1.1.

Данный разработанный и утверждённый подход к оценке уровня безопасности эксплуатируемых ГТС указывает на то, что оценка уровня безопасности не может быть осуществлена без проведения мероприятий, направленных на обеспечение контроля за гидротехническими сооружениями посредством проведения постоянных или периодических наблюдений за их состоянием. Однако система мониторинга ГТС в данной иерархической схеме включает результаты визуального контроля и проверку условий эксплуатации отдельным блоком, а инструментальный контроль организуется отдельным блоком. Таким образом схема является сложной для восприятия и не передает в полной мере сущность комплексной системы мониторинга для оценки уровня

безопасности ГТС, также требует уточнения система связей при осуществлении указанных блоков оценки.

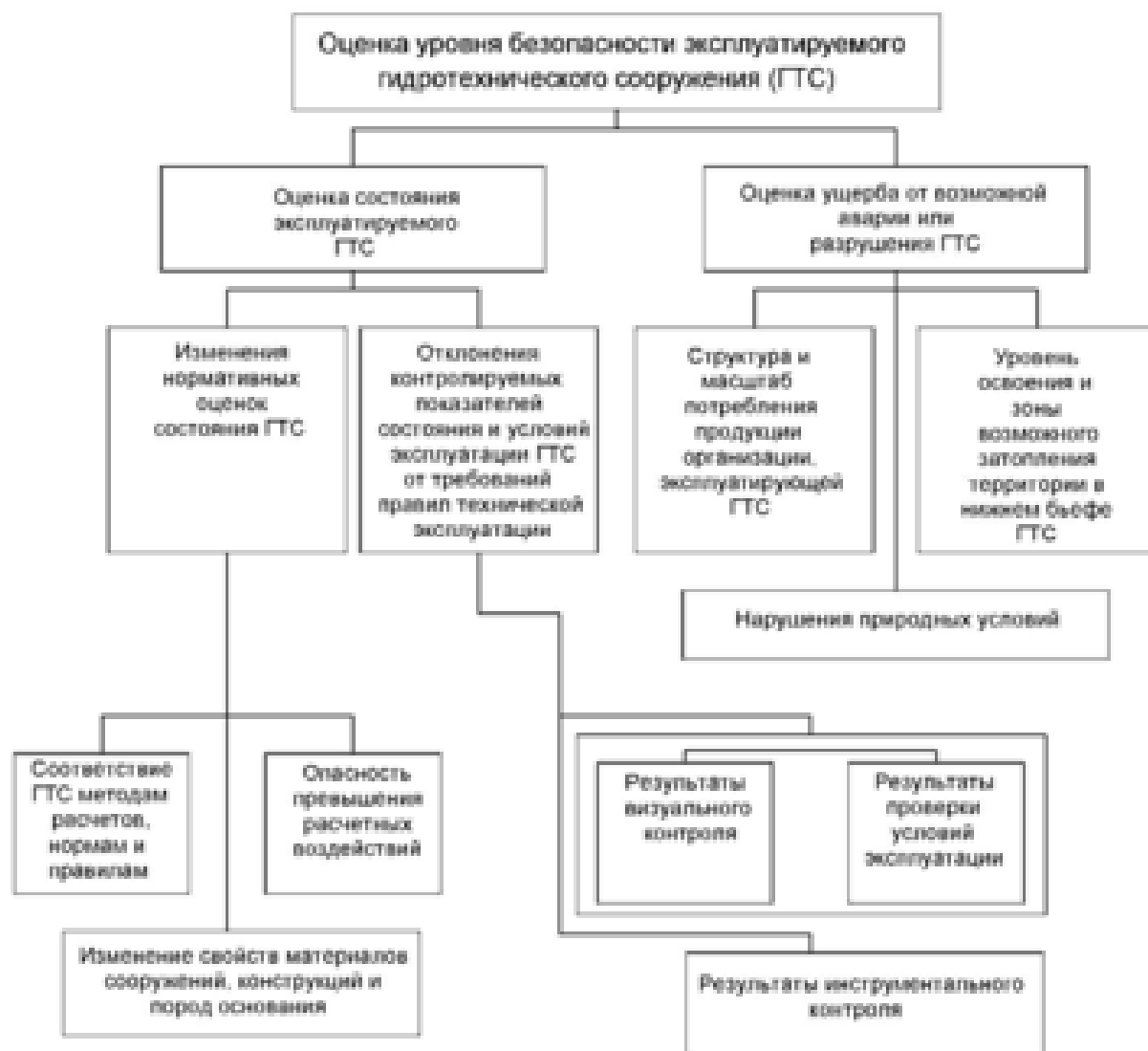


Рисунок 1.1 – Структура факторов безопасности и схема оценки их влияния на безопасность эксплуатируемых ГТС [28]

По стандарту организации ФГБНУ «РосНИИПМ» СТО 4.2-5-2015 «Мелиоративные системы и сооружения. Эксплуатация. Оценка технического состояния гидротехнических сооружений» [27] для обеспечения работоспособного состояния гидротехнических сооружений должны быть проведены следующие формы контроля состояния гидротехнических сооружений [27]:

- постоянные (регулярные) наблюдения за состоянием ГТС;
- периодические обследования;

- целевые обследования;
- внеочередные обследования.

«Постоянные наблюдения подразделяются на визуальные наблюдения и инструментальные обследования. В процессе постоянных наблюдений визуально должны контролироваться следующие параметры» [27]:

- «состояние откосов и гребня плотины - просадки, подвижки, трещины, оползни, повреждение креплений»;
- «состояние ливнеотводной сети на гребне, бермах и откосах плотины»;
- «выявление выходов фильтрационных вод на низовом откосе плотины и в нижнем бьефе из основания плотины, в примыкании к бетонным сооружениям и в береговых примыканиях»;
- «появление наледей у подошвы низового откоса плотины и на дренажных линиях»;
- «размывы откосов и берегов»;
- «состояние контрольно-измерительной аппаратуры»;
- «зарастание канав, отводящих дренажные воды».

Визуальные наблюдения могут выполняться в комплексе с инструментальными. При проведении наблюдений за качественными характеристиками показателей состояния ГТС необходимо использовать «средства линейно-угловых измерений, масштабное фотографирование, методы неразрушающего контроля и другие возможные для применения технические средства» [27].

Инструментальные обследования на водоподпорных гидротехнических сооружениях должны выполняться за осадками, смещениями и фильтрационным режимом сооружений.

Перечень мероприятий по проведению постоянных (регулярных) наблюдений устанавливается службой эксплуатации для конкретных гидротехнических сооружений.

Периодические обследования должны осуществляться после завершения оросительного сезона в виде полного технического обследования сооружений

для определения конкретных видов и объемов ремонтных работ, выполнение которых необходимо для обеспечения готовности к следующему сезону. Периодические обследования проводятся не менее одного раза в течении пяти лет на ГТС, подлежащих декларированию безопасности (преддекларационные обследования) [27].

При выявлении дефектов и отказов, а также увеличении риска возникновения аварийных ситуаций проводят целевые обследования [27].

Выполнению внеочередных обследований ГТС предшествует возникновение чрезвычайных стихийных явлений или аварий [27].

Методическое пособие «Разработка и создание комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений» [20] предлагает следующую методику и технику натурных наблюдений за показателями состояния гидротехнических сооружений.

Натурные наблюдения за показателями, характеризующими эксплуатационную надежность и безопасность сооружения и основания должны быть регулярными с целью создания информационной базы данных для оперативной оценки изменений состояния ГТС. Начало их проведения должно быть непосредственно после установки соответствующих средств измерений и продолжаться в течение нормативного срока эксплуатации индивидуально для каждого сооружения или отдельного его элемента с учетом их состояния, «тенденций в процессах стабилизации режимов работы и старения, долговечности измерительной аппаратуры и возможностей ее замены по истечении рабочего ресурса и других обстоятельств» [20].

Сроки измерений по датчикам и другим измерительным устройствам для каждого конкретного объекта для всех этапов эксплуатации сооружения устанавливаются программой наблюдений или инструкциями, разработанными эксплуатирующим персоналом [20].

Устанавливают периодичность систематических отсчетов, которые выполняются через определенные интервалы времени, и сроки специальных отсчетов, выполняемых при возникновении особых случаев эксплуатации

сооружения (превышение нормального подпорного уровня (НПУ), резкое увеличение фильтрационных расходов, землетрясение и т.п.) [20].

Перед началом наполнения водохранилища систематические отсчеты проводятся через 7-10 дней по всем видам заложенных измерительных устройств. Специальные отсчеты выполняются перед началом наполнения и в процессе наполнения (например, через каждые 0,5 - 3,0 м подъема уровня или при достижении им  $1/4$ ,  $1/2$ ,  $3/4$  и полной величины напора), при проявлениистораживающих явлений (появление мутности в фильтрующейся воде и т.п.) [20].

Периодичность специальных измерений назначают в пределах от одного до пяти дней. В исключительных случаях, когда происходит интенсивное развитие того или иного неблагоприятного процесса, отсчеты необходимо проводить по несколько раз в сутки, включая и ночное время (например, идет интенсивный вынос грунта фильтрационным потоком и т.п.) [20].

Систематические отсчеты по приборам в начальный период эксплуатации сооружения и до появления признаков установившегося режима его работы назначается в интервале 5 - 15 дней. В дальнейшем, при отсутствии негативных процессов и явлений частоту отсчетов можно сократить до 10 - 30 дней. [20].

«Наблюдения за напряженно-деформированным состоянием плотины и ее основанием по полной программе и с использованием всех установленных средств измерений должны проводиться в течение периода, охватывающего полное наполнение водохранилища и такое количество циклов его сезонной сработки и наполнения в проектных пределах нормальной эксплуатации, которое соответствует стабилизации напряженно-деформированного состояния и переходу деформаций сооружения в упругую стадию» [20].

Систематические наблюдения (отсчеты по приборам) за температурным режимом ГТС, его отдельными элементами и основаниями в период строительства проводятся с интервалом 7-10 дней, 1-5 дней – в период первоначального наполнения водохранилища, 10-15 дней – в начальный период эксплуатации, а при установившемся режиме работы ГТС – от 15 до 30 дней. В

период пропуска паводков через бетонные водопропускные сооружения, «встроенные» в тело плотины, наблюдения за температурным режимом контактных зон проводятся специальными отсчетами с периодичностью до 5 дней [20].

Осадки и горизонтальные смещения гребня и берм плотин контролируются: в строительный период – не реже 4 циклов в год и в зависимости от условий технологии возведения; в период наполнения водохранилища – один контрольный цикл наблюдений проводится перед началом наполнения, а за тем по 2-4 цикла в месяц; в период эксплуатации – по 2 цикла в год (первый цикл проводится при самом низком сработанном уровне, второй – после его подъема до НПУ). Перед переустановкой временных марок и сразу после этого проводится дополнительно по одному циклу наблюдений. В случае интенсификации процессов осадки или горизонтальных смещений, периодичность наблюдений может быть увеличена до 1 цикла в сутки и оставаться в этих пределах до принятия мер, стабилизирующих процессы осадки и смещений плотин [20].

В период наполнения водохранилища наблюдения за фильтрацией с использованием КИА (пьезометры, водосливы и др.) проводятся через каждые 1-5 дней [20].

В период и начальной эксплуатации сооружения и основания при нормальной их работе вплоть до выхода на установившийся режим, периодичность фильтрационных отсчетов составляет 5-15 дней, а в последующие годы нормальной эксплуатации – не реже 10-15 дней. При смене режима работы водохранилища (резких сработках, подъемах уровня верхнего бьефа (УВБ), проявлении аномалий и др.) периодичность наблюдений должна быть увеличена до 1-5 дней, причем в течение всего периода времени, так как этот период обуславливается «инерционностью» КИА и для проявления реакции средств измерений на указанные изменения нужно время [20].

Прекращение или снижение периодичности отдельных видов инструментальных наблюдений определяется индивидуально для каждого

сооружения. Если состояние сооружения изучено достаточно подробно и имеет установившийся характер, его поведение соответствует проектному прогнозу, и отсутствуют аномальные явления, некоторые наблюдения по КИА могут быть прекращены, а контрольные отсчеты можно брать 2-4 раза в год [20].

Измерительные устройства, которые дают информацию для оценки состояния, эксплуатационной надежности и безопасности ГТС и основания, должны контролироваться постоянно с периодичностью 1-2 раза в месяц. Применительно к грунтовым плотинам, расположенным в зоне с преобладанием отрицательных температур пород и почв, к таким наблюдениям относят: наблюдения за температурным режимом плотины, ее элементов и основания, воды в водохранилище и наружного воздуха; наблюдения за осадками и смещениями, наблюдения за фильтрационным режимом плотины, основания и береговых примыканий [20].

Визуальные осмотры сооружения проводятся, как правило, ежедневно.

Первичная обработка результатов наблюдений должна проводиться непосредственно на объекте эксплуатационным персоналом и представляет собой вычисления значений величин контролируемых параметров сооружения (температуры, осадки, смещения, расхода, градиентов и т.д.) по показаниям измерительных устройств, их систематизацию и предоставление в удобном для оперативного использования, анализа и хранения виде. Результаты обработки представляются в виде таблиц, графиков, эпюр, изолиний и в других формах, регламентируемых местной инструкцией. Наиболее удобной формой представления результатов наблюдений являются графики зависимостей основных контролируемых параметров сооружения (осадок, смещений, расходов, пьезометрических напоров и др.) от действующих нагрузок и воздействий (гидростатического напора, собственного веса и др.), а также от времени [20]. Характер и сложность решаемых задач определяют способы и объемы анализа результатов наблюдений за состоянием ГТС, его отдельными элементами и основанием.

Таким образом, в [20] описывается подробная методика проведения мониторинга состояния ГТС, однако периодичность проведения наблюдений за различными параметрами их состояния является очень размытой и должна быть уточнена индивидуально для каждого гидротехнического сооружения с учетом параметров, влияющих на состояние ГТС.

Бальзанников М.И., Иванов Б.Г. и Михасек А.А. в своей статье «Система управления состоянием гидротехнических сооружений» [1] основными принципами современной концепции обеспечения эффективности и безопасности считают: «постоянство мониторинга состояния гидротехнических сооружений, оперативность, доступность, достоверность, малозатратность, прогнозируемость состояния ГТС; управляемую безопасность (не пассивно наблюдать и фиксировать, а своевременно реагировать); автоматический режим осуществления; интеллектуальность» [1, с.121].

Синтезируемая в статье [1] система мониторинга должна «обеспечивать статистику наблюдений за объектом, мнения экспертов (нужны встроенные базы данных) и осуществлять интеллектуальный анализ данных (нужны встроенные базы знаний). Это позволит прогнозировать состояние объекта, собственно системы мониторинга и осуществлять упреждающее управление, не допуская сбоев и больших потерь от нарушения безопасности технологического процесса на объекте» [1, с.121].

Рассматриваемая система должна быть обеспечена автоматическим режимом работы и интеллектуальность функционирования. Это исключит зависимость работы системы от субъективных факторов человека (например, усталость). Интеллектуальность разрабатываемых авторами систем предлагается развивать в двух направлениях: «заимствование интеллекта у человека (опытное лицо, принимающее решение, обучает машину) и генерация собственного интеллекта (машина содержит механизмы самообучения, которое происходит в процессе работы)» [1, с.121].

На основании этого возникает необходимость перехода от обеспечения безопасности ГТС на основе анализа их состояния и устранения нарушений в



работе по мере их возникновения к управлению с учетом фактического состояния объектов ГТС и прогноза перехода этого состояния в критическое (аварийное) в будущем [1, с. 121].

Таким образом, возникает необходимость в разработке современных систем постоянного долгосрочного мониторинга состояния ГТС [1, с.121]. Для решения этой задачи существует несколько технико-технологических подходов. Наиболее перспективным подходом решения проблемы является «развитие средств и методов дистанционного зондирования Земли и геоинформационных систем. С помощью спутниковых технологий можно обнаружить изменение состояния ГТС (например, подвижки грунта и т.д.). Однако возможности спутников, по данным некоторых изданий, являются недостаточными для таких определяющих параметров систем, как надежность и разрешающая способность, поэтому применение других методов обеспечения безопасности ГТС на основе анализа их состояния может быть более эффективным [1, с.121-122].

Для целей мониторинга состояния ГТС также применяют технологию беспроводных сенсорных сетей (БСС), основным элементом которых является беспроводной сенсорный узел, состоящий из пять основных элементов, а именно приемо-передающего устройства, микроконтроллера и модуля памяти, программного обеспечения, автономного источника питания и системы сенсоров. Благодаря технологии БСС становится возможным измерение вибраций и нагрузок ГТС, обнаружение и анализ причин фильтрации воды через тело плотины, оценка напряженно-деформированного состояния конструкции, измерение влажности и температуры окружающей среды, влияющих на скорость износа элементов сооружений и других эксплуатационных параметров ГТС [1, с.122].

«В основу интеллектуальной части системы мониторинга предложено заложить базы знаний агентов беспроводных сенсорных сетей, включая распределенную базу знаний агентов нижнего уровня и центральную базу знаний агентов верхних уровней. При этом распределенная база знаний

включает модели локальных динамических процессов, протекающих в контролируемых объектах, а центральная база знаний — модель глобального деформационного процесса и алгоритмы выработки диагностических решений. Такой подход позволит осуществить оперативность, достоверность и снижение затрат на процесс идентификации уровня безопасности гидротехнических сооружений» [1, с.122].

Система управления состоянием гидротехнических сооружений, предложенная авторами в [1], предусматривает внедрение современных технологий и применение новых методик для мониторинга за состоянием гидротехнических сооружений с созданием информационной базы данных о состоянии ГТС. Однако создание такой системы мониторинга на существующих гидроузлах требует значительных капитальных вложений, и во многих случаях применение ее может быть нерациональным и экономически невыгодным.

Согласно Методических указаний по осуществлению собственниками гидротехнических сооружений и эксплуатирующими организациями мониторинга показателей состояния гидротехнических сооружений, надзор за которыми осуществляет Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору [19], «мониторинг состояния гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с программой натуральных наблюдений (проектом мониторинга) за показателями состояния гидротехнического сооружения, который разрабатывается с учетом класса гидротехнического сооружения, его конструктивных особенностей, геологических, геокриологических, климатических, сейсмических условий, условий строительства и требований эксплуатации, а также наличия дефектов и неблагоприятных процессов в сооружении, основании и береговых примыканиях» [19].

Программа натуральных наблюдений (проект мониторинга) за показателями состояния гидротехнического сооружения включает в себя [19]:

- «перечень критериев безопасности гидротехнического сооружения»;

- «перечень контролируемых нагрузок и воздействий на сооружение (в том числе природные и техногенные воздействия)»;
- «перечень контролируемых и диагностических показателей состояния сооружения и его основания»;
- «структурную схему и технические решения системы мониторинга состояния сооружений, природных и техногенных воздействий на них»;
- «состав и периодичность инструментальных и визуальных наблюдений»;
- «методику проведения натурных наблюдений»;
- «рекомендации по обработке и систематизации натурных наблюдений»;
- «технические условия и чертежи на установку контрольно-измерительной аппаратуры, спецификацию измерительных приборов и устройств (если предусматривается инструментальный контроль с использованием закладной аппаратуры)» [19].

Проект мониторинга за состоянием гидротехнических сооружений I, II и III классов должен включать в себя визуальные наблюдения и инструментальный контроль, с использованием установленной КИА. Для ГТС IV класса в программу натурных наблюдений допускается включать визуальные наблюдения с инструментальными измерениями [19].

Методические указания [19] регламентируют отражать ежегодно в годовых отчетах о состоянии ГТС анализ результатов визуальных наблюдений, выполненных совместно с данными инструментальных измерений, с обязательным приложением таблицы сравнения фактических значений контролируемых показателей с критериями безопасности.

«Перед прохождением весеннего паводка с целью проверки готовности гидротехнического сооружения к эксплуатации в весенне-летний период, а также осенью в целях проверки состояния и подготовки гидротехнического сооружения к нормальной эксплуатации в осенне-зимний период проводятся комиссионные осмотры гидротехнического сооружения.» [19].

С целью выявления повреждений или признаков неблагоприятных процессов, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору в [19] предусматривает проведение дополнительных осмотров, не отраженных в проекте мониторинга, в случаях, если гидротехническое сооружение было подвергнуто опасным внешним воздействиям (землетрясение, паводок, с расходами, близкими к максимальным расчетным значениям).

Проект мониторинга состояния гидротехнического сооружения для осуществления его безопасной эксплуатации составляется на основе Методических рекомендаций по составлению проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных Госгортехнадзору России производствах, объектах и в организациях (РД 03-417-01) [18] и Инструкции о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России (РД 03-259-98) [13].

#### 1.4 Выводы по главе 1

1. Результаты аналитического обзора мирового опыта проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений, анализа возникающих аварий и их последствий, возникает необходимость обеспечения надежности и безопасности гидротехнических сооружений на всех стадиях их жизнедеятельности.

2. Соблюдение норм безопасности, корректировка инженерных решений на всех этапах создания и эксплуатации ГТС, прогнозирование возможных последствий аварий на гидротехнических сооружениях, повышение профессионального уровня и подготовка специалистов в области безопасности ГТС, постоянный надзор и проведение других мер обеспечивают комплексный подход к безопасной эксплуатации ГТС.

3. Особое место в этом комплексе мер занимает необходимость проведения постоянного контроля состояния гидротехнических сооружений в рамках методик мониторинга состояния гидротехнических сооружений.

4. Осуществление мониторинга состояния гидротехнических сооружений для обеспечения их безопасности предусмотрено законодательно.

5. Система мониторинга разрабатывается различными проектными организациями и научными институтами в целях ее усовершенствования, однако каждый объект ГТС имеет свои индивидуальные особенности, которые необходимо учитывать при организации его системы мониторинга, поэтому для каждого ГТС утверждается свой перечень контролируемых параметров во время проведения наблюдений в системе мониторинга в соответствии с индивидуальной программой (проектом мониторинга).

6. В целом научно-практической задачей является систематизация наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений для обеспечения оптимизации эксплуатационных режимов гидротехнических сооружений.

## 2 Система мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений в Республике Крым

На территории Республики Крым расположены 23 водохранилища, из них 15 водохранилищ – это водохранилища естественного стока, остальные 8 – это водохранилища наливного типа, источником наполнения которых считается Северо-Крымский канал (таблица 2.1). Подпор воды на всех 23 водохранилищах образуется грунтовыми (земляными) плотинами, отличающимися друг от друга.

Таблица 2.1 – Водохранилища Крыма [2]

№ п/п	Название водохранилища	Объем водохранилища (млн м <sup>3</sup> )	Год начала эксплуатации	Источник наполнения водохранилища
1	2	3	4	5
Водохранилища естественного стока				
1	Альминское водохранилище	6,2	1934	р. Альма
2	Аянское водохранилище	3,9	1933	р. Аян
3	Балановское водохранилище	5,7	1974	р. Зуя
4	Бахчисарайское водохранилище	6,89	1935	р. Кача
5	Белогорское водохранилище	23,3	1972	р. Биюк-Карасу
6	Загорское водохранилище	27,85	1980	р. Кача
7	Изобильненское водохранилище	13,25	1979	р. Улу-Узень
8	Кутузовское водохранилище	1,11	1986	р. Демерджи
9	Льговское водохранилище	2,2	1977	р. Мокрый Индол (вода закачивается насосной станцией)
10	Партизанское водохранилище	34,4	1966	р. Альма
11	Симферопольское водохранилище	36,0	1956	р. Салгир

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
12	Старокрымское водохранилище	3,15	1957	р. Чурюк-Су
13	Счастливенское водохранилище	11,8	1964	р. Биюк-Узенбаш
14	Тайганское водохранилище	13,8	1938	р. Биюк-Карасу
15	Чернореченское водохранилище	64,2	1956	р. Чёрная
Водохранилища Северо-Крымского канала (СКК)				
16	Зеленоярское водохранилище	3,02	1975	СКК
17	Межгорное водохранилище	50,0	1989	СКК
18	Самарлинское водохранилище	8,09	1978	СКК
19	Керченское (Станционное) водохранилище	24,0	1975	СКК
20	Сокольское водохранилище	2,26	1972	СКК
21	Феодосийское водохранилище	15,37	1971	СКК
22	Фронтное водохранилище	35,0	1978	СКК
23	Юзмакское (Ленинское) водохранилище	7,7	1948	СКК

Схема расположения водохранилищ Республики Крым приведена на рисунке 2.1.

Кроме указанных выше водохранилищ, большое распространение получило проектирование и строительство водоподпорных гидротехнических сооружений для создания прудов, объем которых в некоторых случаях достигает 1 млн. м<sup>3</sup>, что обуславливает предъявление особых требований к осуществлению их безопасной эксплуатации ввиду возможных последствий в результате аварии на данных гидротехнических сооружениях.



● - водохранилища естественного стока; ● - водохранилища СКК

Рисунок 2.1 – Водоохранилища Республики Крым [2]

На водоподпорных гидротехнических сооружениях Крыма, как и на водоподпорных ГТС в мире, не исключено возникновение чрезвычайной ситуации, которая может повлечь значительный ущерб населению, имуществу и окружающей среде. Условия, в которых приходит их эксплуатация, являются особенными в виду территориальных особенности Крыма.

В настоящее время мониторинг водоподпорных гидротехнических сооружений, расположенных на территории Республики Крым, осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации на основе Методических рекомендаций по составлению проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных Госгортехнадзору России производствах, объектах и в организациях (РД 03 - 417-01) [18] и Инструкции о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России (РД 03-259-98) [13].



«Мониторинг безопасности гидротехнических сооружений – это совокупность постоянных (непрерывных) наблюдений за состоянием безопасности гидротехнических сооружений и характером воздействия опасных факторов на окружающую среду» [18].

Цели, которые преследует мониторинг за состоянием и работой гидротехнических сооружений приведены на рисунке 2.1.

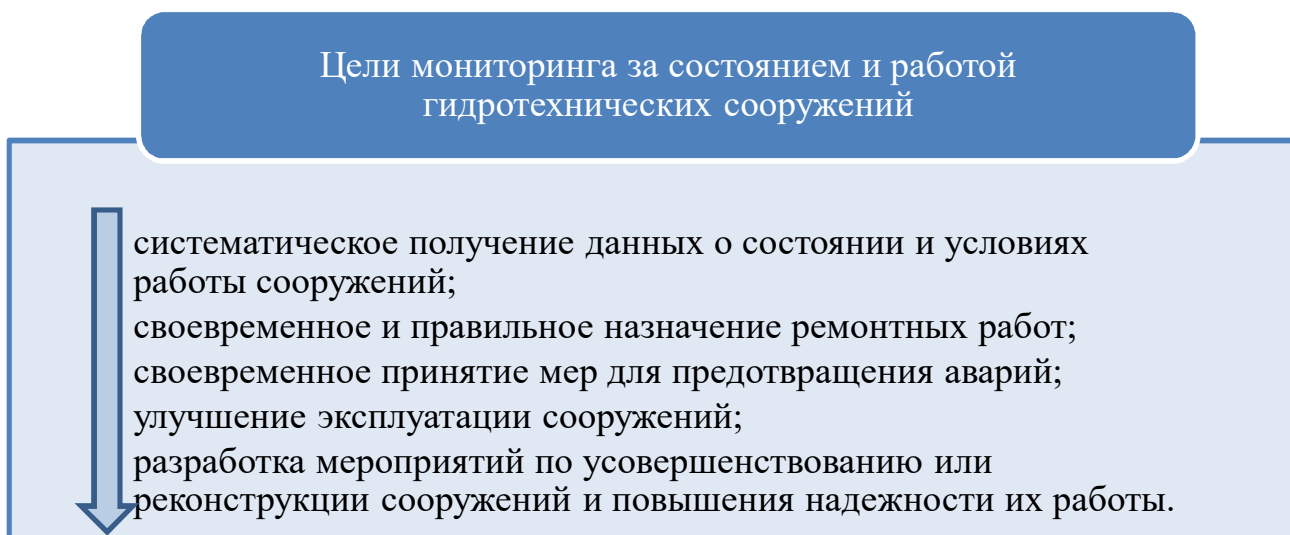


Рисунок 2.1 – Цели мониторинга за состоянием и работой гидротехнических сооружений

Проекта мониторинга безопасности ГТС, согласно [18], включает следующие разделы:

1. Введение.
2. Общая характеристика гидротехнических сооружений.
3. Состав, объем и функции системы мониторинга безопасности ГТС.
4. Сметная документация.
5. Приложения (чертежи).

В настоящее время для водоподпорных гидротехнических сооружений, находящихся на территории Республики Крым, разделом 3 Проекта мониторинга безопасности ГТС и Инструкцией по ведению мониторинга безопасности ГТС определен состав, объем и функции системы мониторинга безопасности ГТС.

В процессе мониторинга производятся визуальные и инструментальные наблюдения по параметрам в соответствии с рисунком 2.2.

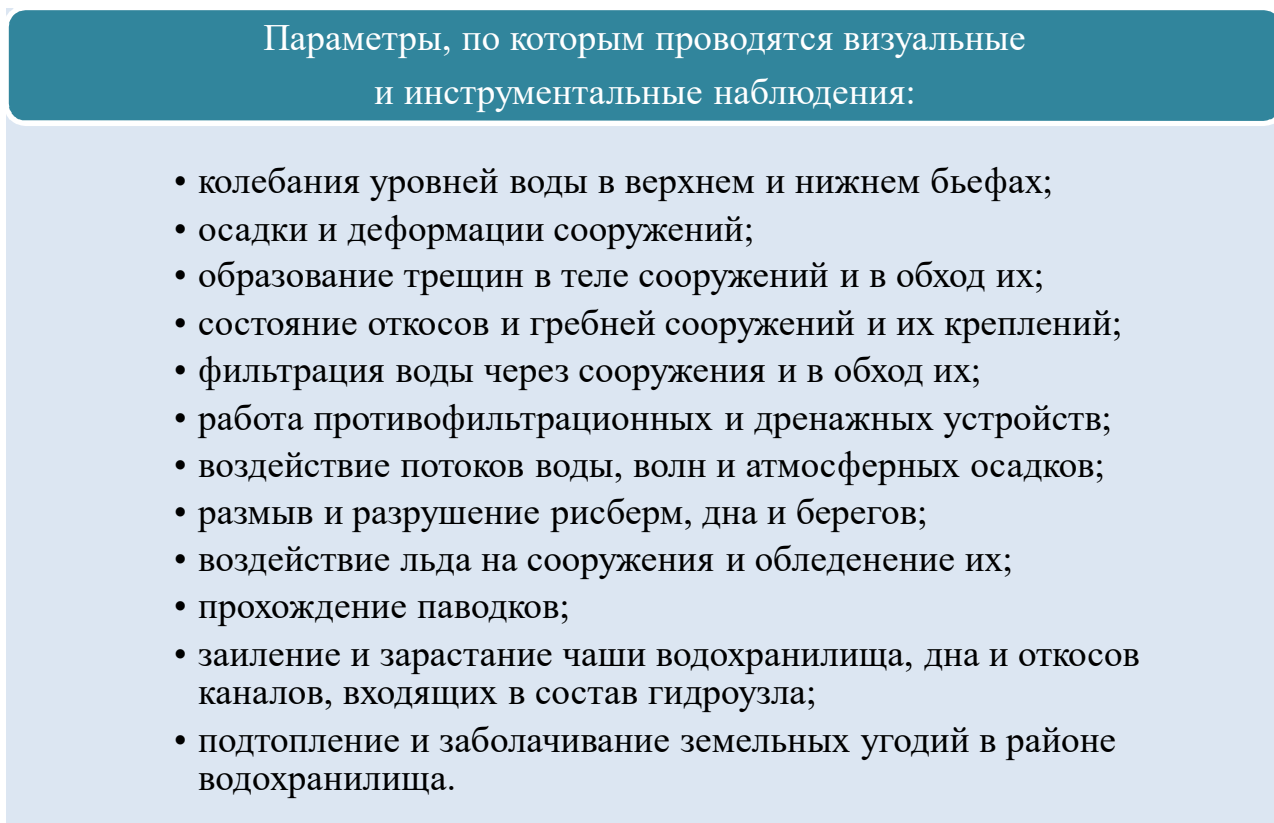


Рисунок 2.2 – Параметры, по которым проводятся визуальные и инструментальные наблюдения

2.1 Особенности проведения визуальных наблюдений в составе системы мониторинга за состоянием водоподпорных гидротехнических сооружений

Визуальные наблюдения являются составной частью натуральных наблюдений в составе системы мониторинга за состоянием ГТС. Проводиться они для обнаружения недостатков, проявление которых возможно в период эксплуатации сооружений.

Визуальным наблюдения включают в себя различные виды наблюдений в соответствии с рисунком 2.3

Визуальные наблюдения	наблюдения за общим состоянием земляных и бетонных поверхностей сооружений
	наблюдения за просадками и трещинами
	наблюдения за следами фильтрации и выщелачивания
	наблюдения за состоянием ледяного покрова, движения шуги, льда

Рисунок 2.3 – Виды визуальных наблюдений

Визуальные наблюдения ведутся службой эксплуатации в виде осмотров сооружений, обходов в таком порядке и с такой периодичностью, которая определяется местными инструкциями на производстве.

Все недостатки, выявленные в процессе осмотров и обходов, фиксируются на месте, на планах и разрезах сооружений, с описанием, зарисовками, обмерами и фотографированием. В дальнейшем при обходе отмечаются изменения, произошедшие в масштабе и характере выявленных ранее недостатков.

При помощи приборов и простейших инструментов проводятся наблюдения за уровнями воды в водохранилищах, за уровнями воды в пьезометрах, расходами характеристиками очагов фильтрации и дренажей, раскрытием трещин, оползнями и др.

Результаты осмотров заносятся в специальные журналы визуальных наблюдений, в которых указывается дата обнаружения деформаций, их местоположение (номер пикета и расстояния в м от пикета оси сооружения), характеристика деформаций с указанием для трещин – длины, ширины и глубины, а для обвалов и оползней – площади и т.д.

В это же время делаются записи о мероприятиях, которые необходимо принять для устранения выявленных недостатков сооружений, сроках и фактическом их выполнении.

Ответственным за проведение осмотров, осуществление и организацию наблюдений за состоянием сооружений является гидротехник.

### 2.1.1 Наблюдения за состоянием и деформациями земляных сооружений

При визуальных наблюдениях – обходах и осмотрах земляных плотин необходимо следить за показателями в соответствии с рисунком 2.4.



Рисунок 2.4- Показатели визуальных наблюдений

При наличии подводящих или отводящих каналов наблюдения проводятся за: состоянием откосов и их креплений; заилением и зарастанием русел; примыканием русла к водобойному колодцу.

Во время осмотров грунтовых водоподпорных сооружениях возможно обнаружение деформаций различных видов в соответствии с рисунком 2.5.



Рисунок 2.5 - Виды деформаций грунтовых водоподпорных сооружений

## 2.1.2 Наблюдения за деформациями облицовок и креплений грунтовых плотин

В общем случае наблюдения за креплением и облицовкой состоят из регулярных визуальных осмотров. При этом должны быть выявлены их «деформации, смещения и просадки отдельных элементов, сохранность уплотнений швов и связи между элементами, появлением трещин в элементах и прогиб покрытий, размыв и другие нарушения в подготовках под проницаемым покрытием».

Осмотрщиками ежедневно должны обследоваться крепления и установленные на сооружениях приборы и оборудование. В условиях штормовых или сильных волнений обследования поводятся несколько раз в сутки.

Во время осмотров облицовок и креплений грунтовых плотин необходимо обращать особое внимание на показатели в соответствии с рисунком 2.6:

При осмотре облицовок и креплений грунтовых плотин следует особое внимание обращать на следующие показатели	
<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	вымыв уплотняющих материалов из швов бетонных и железобетонных частей сооружений от воздействия потока
<input type="checkbox"/>	состояние и деформации каменной наброски
<input type="checkbox"/>	вымыв грунта из-под облицовки через швы и щели от воздействия потока или от ветрового волнения
<input type="checkbox"/>	смещение элементов и креплений вследствие давления грунтовой воды, возникающего при быстром понижении уровня воды
<input type="checkbox"/>	смещение элементов облицовок и креплений от подвижек льда в случае навала или примерзания льда к ним
<input type="checkbox"/>	промоины под облицовками от воздействия грунтового потока или затекания дождевой водой
<input type="checkbox"/>	выявления в бьефах крупных плавающих предметов (бревна, пни, коряги и т.д.)
<input type="checkbox"/>	появление крупных камней

Рисунок 2.6 – Показатели, состояния облицовок и креплений грунтовых плотин

Подводные исследования креплений необходимо проводить при минимально низком уровне воды и максимальной ее прозрачности с периодичностью один раз в год. При возникновении просадочных деформаций, оползании элементов крепления откоса и других подобных повреждениях, проведение подводных обследований может назначаться по особому заданию. Результаты этих обследований заносятся в специальный журнал с обязательным описанием, фотоснимками, эскизами, зарисовками, линейными измерениями и др.

### 2.1.3 Наблюдения за фильтрацией через тело, основание и в обход земляных сооружений

Местная фильтрация определяется характерными явлениями в соответствии с рисунком 2.7.

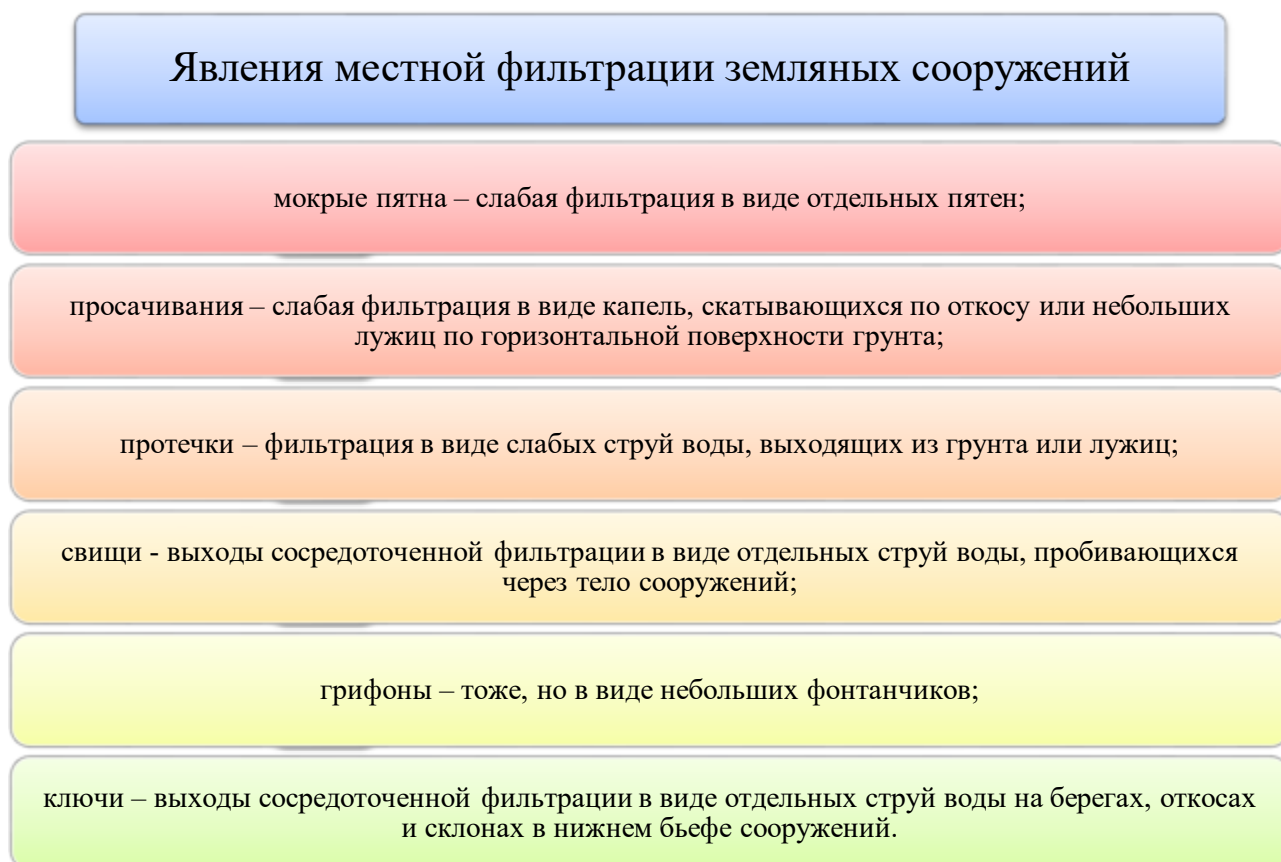


Рисунок 2.7 – Явления, характеризующие наличие местной фильтрации земляных гидротехнических сооружений

При наблюдениях за фильтрацией следует особое внимание уделять местам появления выходов воды в соответствии с рисунком 2.8.

1. В пределах низовых откосов плотин, в зоне выше дренажа

2. В сопряжении частей плотин из разнородных материалов и в местах примыкания их к берегам

3. В нижнем бьефе через основание плотин (подтопление и заболачивание территории, прилегающей к плотине)

Рисунок 2.8 – Виды мест выхода фильтрационной воды

Особому контролю должны подвергаться наблюдения за изменением уровня грунтовых вод в нижнем бьефе плотины. Повышение уровня грунтовых вод в нижнем бьефе плотины свидетельствует о нарушении в работе противофильтрационных элементов плотины.

Все выявленные очаги местной фильтрации, где она проявляется струйками или грифонам, расчищаются и устраиваются небольшие бассейны или канавки для отвода воды, производятся измерения расхода фильтрующейся воды мерным водосливом или объемным способом.

Каждое измерение расхода необходимо проводить с качественной оценкой воды на наличие мути, движение песчинок, отложение песка в бассейне и т.д с целью определения наличия или отсутствия явлений выноса грунта (суффозии).

После обнаружения очагов местной фильтрации, измерение расхода воды из них производится эксплуатационным персоналом ежедневно. Если после истечения месячного срока наблюдений будет наблюдаться стабилизация или уменьшение расхода фильтрующейся воды, наблюдения допускается сократить и производить их 2-3 раза в. месяц до ликвидации очагов фильтрации, одновременно с измерениями расхода воды в дренажах.

Появление местных просадок, например, в сооружении, где имеет место наличие разнородных материалов и просачивание воды через швы и щели,



свидетельствует о скрытой сосредоточенной фильтрации с выносом частиц грунта.

Все очаги фильтрации, обнаруженные во время визуальных наблюдений, осматриваются на месте и фиксируются в специальном журнале наблюдений с соответствующими записями. В записях указывается характеристика места обнаружения местной фильтрации, а именно указывается пикет и расстояние в метрах от пикета и от оси сооружения, а также размеры и характер фильтрующейся воды. Зарисовки и фотографии такого места прилагаются к журналу наблюдений.

#### 2.1.4 Наблюдения за состоянием бетонных, железобетонных и металлических конструкций

Визуальное наблюдение за состоянием водозаборных и водосбросных сооружений осуществляется путем осмотра их внешнего вида, фиксации вновь появившихся изменений размеров старых дефектов, раскрытия швов и других явлений, указавших на деформационные процессы в сооружениях.

Во время осмотра бетонных поверхностей выявляются потеки, трещины, наличие пустот и раковин, налеты и напластования продуктов выщелачивания, выкрашивание и отслаивание бетона и т.д.

Наблюдения за бетонными и железобетонными сооружениями должны проводиться систематически и в доступных местах для осмотра наружных и внутренних поверхностей сооружений.

В зоне переменного уровня воды летом бетонные поверхности осматриваются с лодки, а зимой – при прочном ледяном покрове – с поверхности льда. Подводные части сооружения при необходимости обследуются водолазами.

Производятся наблюдения за поверхностью бетона не менее одного раза в неделю. При обнаружении дефектов или их активизации, наблюдения за ними учащаются и проводятся через 3-5 дней до их ликвидации.

Для проведения наблюдений сооружение разбивается на участки, которые отмечаются на схеме (развертке) сооружения.

Оценка прочности бетона проводится путем тщательного визуального осмотра его поверхности, простукиванием молотком и опробованием зубилом. При наличии глухого звука, вмятин при ударе и слабого сопротивления отколу имеет место снижение прочности бетона.

Наличие очагов фильтрации через бетон при осмотрах характеризуется наличием определений в соответствии с рисунком 2.9.

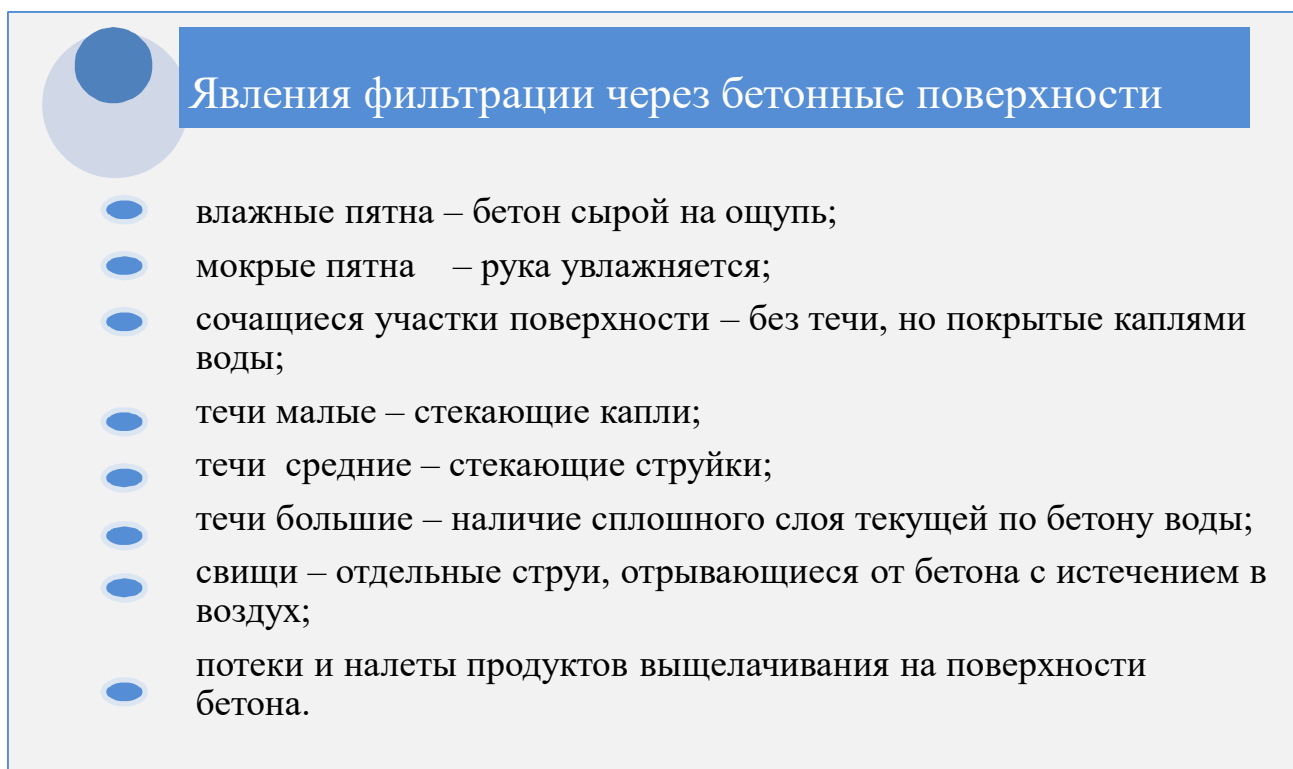


Рисунок 2.9 – Явления, характеризующие наличие фильтрации через бетонные поверхности сооружений

Все выявленные очаги фильтрации отмечаются на месте, нумеруются и наносятся на схемы сооружений с помощью условных обозначений.

При осмотрах шахтного водосбросного сооружения особое внимание уделяется входному оголовку, где возможно образование затора плавающими предметами, льдом или наносами.

При осмотрах водосбросных сооружений открытого типа проверяется состояние понура, быстротока, перепадов, водобоя и рисбермы, выявляются

возможные размывы за рисбермой, выносы грунта из основания, проверяется работа дренажа. Необходимо также обращать внимание на размыв дна за сооружением в нижнем бьефом, входные отверстия водозаборных и водосбросных сооружений, где возможно образование завалов наносами и плавающими предметами, а также на уплотнение затворов и работу приводящих затворы в действие механизмов.

Данные, полученные в результате наблюдений за состоянием бетона и конструкций, заносятся в журнал визуальных наблюдений, все выявленные недостатки нумеруются и указываются условными обозначениями на схемах (развертках) сооружений. Записи в журналах визуальных наблюдений для каждого выявленного дефекта ведутся с указанием даты его обнаружения, местоположения, размеров и характеристика происходящих явлений в соответствии с рисунком 2.10.

#### Параметры наблюдений

- трещин и швов – размеры и интенсивность раскрытия;
- швов – фильтрация воды, повреждения кромок, следы вытекания заполнителя или уплотнителя и др.;
- пятен – степень влажности;
- течей – интенсивность и происхождение их (трещина в бетоне, строительный или температурный шов);
- раковин – примерная глубина, обнаженность арматуры, наличие или отсутствие фильтрации и др.;
- отслаиваний и износа бетона – обнажение арматуры, обкрашивание углов и ребер, общая характеристика дефектов);
- налетов и потеков - (площадь, толщина, цвет, влажность или сухость, происхождение наличие и отсутствие течи в месте потека, цвет и прозрачность воды) и т.д.

Рисунок 2.10 – Характеристика параметров негативных явлений, происходящих в бетонных конструкциях

При последующих осмотрах фиксируются изменения в состоянии бетона за предыдущие периоды.

Обязательно один раз в год проводится обследование поверхности бетона сооружений и наносятся условные знаки выявленных недостатков и дефектов на развертках их поверхности для каждого элемента, сброшюрованных в альбом.

При наблюдениях за состоянием металлических, в том числе и закладных конструкций (решеток на водосбросе, служебной лестницы, решетки на входном оголовке водозаборного трубопровода, трубопроводной арматуры камеры управления и т.д.), фиксируются результаты наблюдений в соответствии с рисунком 2.11

Параметры	наличие изломов, трещин и вмятин
	состояние элементов крепления конструкций, бытовых соединений, спарки
	герметичность запорной арматуры водозаборного трубопровода
	степень коррозии, определяемой при помощи толщиномеров или штангенциркулем (точность измерений должна быть не менее 0,2 мм)

Рисунок 2.11 – Характеристики параметров негативных явлений в металлических конструкциях

Результаты наблюдений за коррозией металлических конструкций представляются в виде графиков зависимости коррозионного ослабления сечений элементов сооружений от времени.

2.2 Особенности проведения инструментальных наблюдений в составе системы мониторинга за состоянием водоподпорных гидротехнических сооружений

### 2.2.1 Наблюдения за деформациями сооружений

Наблюдения за деформациями сооружений начинаются во время строительства и продолжаются систематически в период эксплуатации вплоть до их полной стабилизации.

Инструментальные наблюдения позволяют определять величину и динамику осадки сооружения, интенсивность нарастания или затухания деформационных процессов, выявить признаки потери устойчивости сооружения и степень их влияния на безопасность эксплуатации гидротехнического сооружения.

Осадка сооружения – это вертикальные перемещения сооружений или их отдельных частей, которые зависят от гидродинамического давления грунтового потока, уплотнения грунта тела плотины и основания, конструкции сооружения, условий производства работ и других факторов.

Деформации земляных сооружений подразделяются на общие и местные в соответствии с рисунком 2.12.

Местные деформации приводят к нарушению монолитности сооружения и опасны, так как могут привести к потере устойчивости и работоспособности сооружений.

Наблюдения за деформациями позволяют оценить масштабы и динамику развития нарушений, степень их опасности для сооружения и установить необходимость проведения дополнительных мероприятий для их устранения.

Помимо вертикальных смещений сооружений, также могут происходить горизонтальные смещения.



Рисунок 2.12 – Виды деформаций земляных сооружений

Систематические наблюдения за осадками отдельных частей сооружения и их интенсивностью являются одним из основных условий безопасной эксплуатации сооружений в соответствии с программой наблюдений и исследований, рекомендованной проектом мониторинга безопасности ГТС.

Величина осадки и горизонтальных перемещений сооружений определяются при измерении показаний реперов – плановой и высотной сети геодезических знаков.

На земляных сооружениях для наблюдения за осадками сеть высотных знаков располагают точно по продольным и поперечным осям в характерных сечениях сооружения.

Суть наблюдений за осадками земляных сооружений состоит в периодически повторяющемся нивелировании реперов в соответствии с производственной инструкцией.

Общая продолжительность проведения наблюдений за осадками и их периодичность зависит от конкретных местных условий, величины осадок и скорости их затухания. Периодичность проведения наблюдений за осадкой на

водоподпорных земляных сооружениях в первый год эксплуатации – два раза в месяц, далее – один раз в квартал. Календарные сроки наблюдений за осадками устанавливаются службой эксплуатации в зависимости от конкретных условий.

Результаты нивелирования заносят в журналы полевого нивелирования четким читаемым почерком при помощи шариковой ручки или простого карандаша. Исправления записей в журналах недопустимы, а при ошибках в записях вычислений, ошибку зачеркивают и сверху записывают новое верное значение вычислений.

Обработка результатов нивелирования в любом случае должна проводиться сразу после нивелирования для оценки правильности и точности проведенных измерений. Если результат нивелирования имеет резкое расхождение с отметкой реперов предыдущей нивелировки, необходимо произвести контрольную нивелировку и, после установления достоверности отметок, заносить их в журнал.

Данные журналов наблюдений служат для сопоставления сводных ведомостей осадок.

По результатам наблюдений строится график интенсивности осадок сооружения по продольным и поперечным створам, при этом на горизонтальной оси откладывается время наблюдений (1см-1мес), а на вертикальной – осадки марок в мм.

Данные инструментальных наблюдений за состоянием земляных сооружений служат основой для общего анализа вертикальных деформаций сооружений в целом и их отдельных элементов.

### 2.2.2 Наблюдения за фильтрационным режимом

Фильтрационный режим земляных сооружений в теле, основании и береговых примыканиях зависит от уровня воды в верхнем бьефе водохранилища, физико-механических свойств грунтов основания и тела

сооружений, наличия противofильтрационных и дренажных устройств и правильности их работы.

В зоне гидроузла фильтрационный режим подразделяется на общую и местную фильтрацию в соответствии с рисунком 2.13.

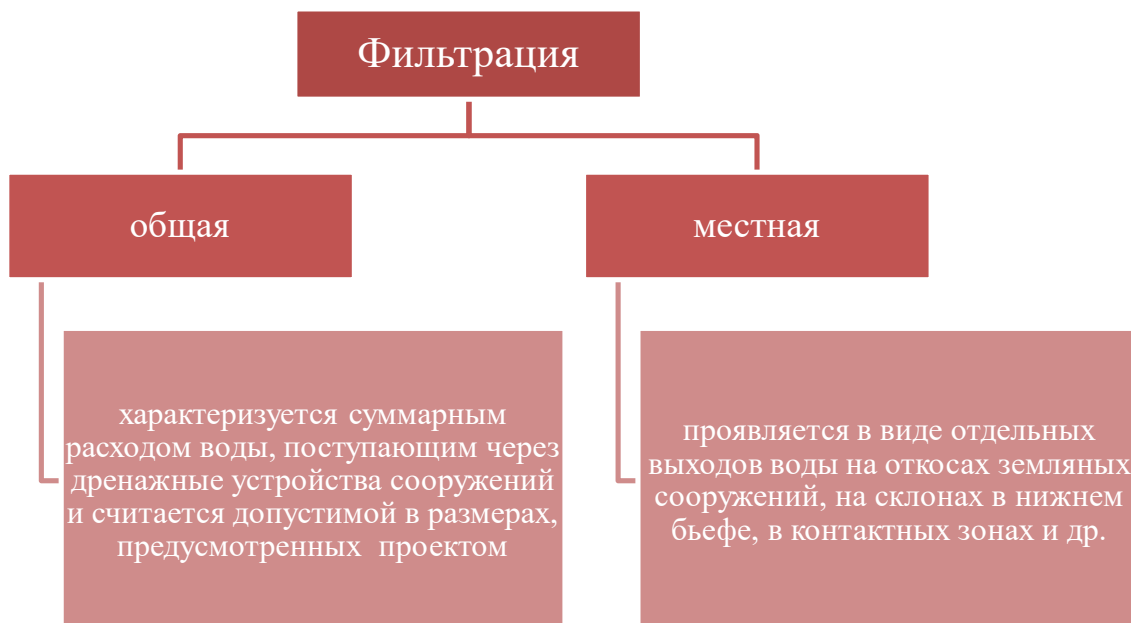


Рисунок 2.13 – Виды фильтрационных режимов гидроузлов

При проведении инструментальных наблюдений за режимом фильтрации земляных сооружений определяют показатели в соответствии с рисунком 2.14.

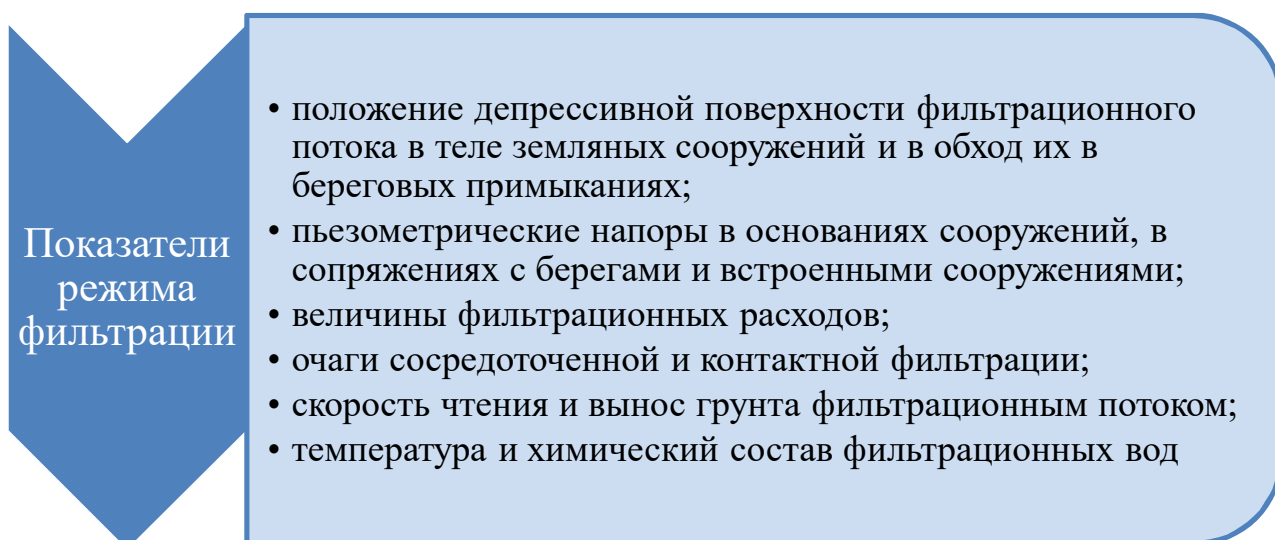


Рисунок 2.14 – Показатели режима фильтрации при проведении инструментальных наблюдений



Материалы наблюдений за фильтрационным режимом используются в целях оценки состояния ГТС, проверки соответствия проектных решений фактическим расчетам устойчивости сооружений и накопления фактических данных для совершенствования методических подходов к фильтрационным расчетам.

Наблюдения за фильтрационным режимом на плотинах ведутся с помощью пьезометров, водомерных устройств различных типов и конструкций, которые устанавливаются в местах выхода фильтрационных вод, а также при помощи красителей.

### 2.2.3 Измерение уровней воды в пьезометрах и расходов фильтрационных вод. Обработка данных наблюдений

Пьезометры используются для определения изменений пьезометрических напоров в различных точках тела и подземного контура сооружения, в местах сопряжения их с берегами, дренажными устройствами и другими сооружениями в целях определения фильтрационного режима и правильности работы противофильтрационных устройств.

Замеры уровней воды в пьезометрах должны начинаться до ввода сооружения в эксплуатацию и заполнения водохранилища сразу после их установки. В период неустановившегося режима фильтрационного потока, наблюдения необходимо проводить ежедневно.

После заполнения водохранилища и при условии отсутствия негативной фильтрации, измерения уровней воды в пьезометрах проводится с периодичностью 5-10 дней.

При установившемся фильтрационном режиме в теле и основании сооружения (1-2 года эксплуатации), периодичность наблюдений определяется уровнями воды в бьефах сооружения и количество замеров может быть сокращено до 1-2 раз в месяц.

Измерение уровней воды в безнапорных пьезометрах проводится с использованием хлопущки или лота-свистка, которые опускаются в устье скважин на специальном тарированном капроновом шнуре, стальной ленте или тросе.

Измерение уровня воды в пьезометрах проводится двукратным замером и равно среднему значению из двух полученных. Результаты замеров заносят в специальный полевой журнал наблюдений за уровнями воды в пьезометрах. Замеры уровней воды в пьезометрах проводятся в одинаковой последовательности в течение одного дня. Одновременно проводят измерения уровней воды в верхнем бьефе водохранилища.

После камеральной обработки результатов измерений, вычисленные абсолютные отметки уровней воды в пьезометрах заносят в соответствующий журнал наблюдений. На основании этих данных строятся графики динамики пьезометрических уровней во времени (вдоль сооружений). На горизонтальной оси графика откладывают время (дата) наблюдений, а на вертикальной откладывают уровни воды верхнего и нижнего бьефов и в пьезометрах.

По результатам наблюдений строится фактическая линия кривой депрессии.

Общий фильтрационный расход воды необходимо измерять в нижнем бьефе земляных водонапорных сооружений и в местах выхода очагов фильтрации, которые обозначаются на местности и фиксируются в журналах наблюдений.

Фильтрационный расход из дренажных систем измеряют один раз в месяц в первый год эксплуатации, а в последующие периоды – один раз в квартал. Измерения фильтрационных расходов из очагов сосредоточенной фильтрации необходимо начинать сразу после их выявления и проводить ежедневно до полного прекращения фильтрации или стабилизации расходов. После стабилизации фильтрационных режимов замеры проводятся не менее чем один раз в неделю. Определение расходов в дренаж и очагах местной

фильтрации проводят объёмным способом при помощи мерного сосуда, мерными водосливами и с использованием поплавков.

Результат измерений заносится в журнал измерений фильтрации.

Показатели нарушения режима нормальной эксплуатации сооружений приведены на рисунке 2.15.



Рисунок 2.15 – Характеристики нарушения режима нормальной эксплуатации сооружений

Анализ результатов наблюдений за фильтрационным режимом водоподпорных сооружений позволяет своевременно выявить отклонения от предусмотренных проектом показателей нормальной эксплуатации сооружения и принять управленческие решения по проведению мероприятий, направленных на стабилизацию состояния сооружений.

#### 2.2.4 Наблюдения за состоянием бетонных и железобетонных сооружений

Инструментальные наблюдения за бетонными и железобетонными сооружениями состоят из различных наблюдений в соответствии с рисунком 2.16.



Рисунок 2.16 – Состав процедуры инструментальных наблюдений за бетонными и железобетонными сооружениями

Инструментальные наблюдения проводят не реже двух раз в год, а при выявлении нарушений и деформаций по мере необходимости до полной их ликвидации.

Бетонные и железобетонные гидротехнические сооружения в процессе эксплуатации подвергаются общим и местным деформациям в соответствии с рисунком 2.17.

Водозаборные, водосбросные сооружения и камера управления требует систематических наблюдений за их состоянием, а также ухода и своевременного устранения повреждений и дефектов, обнаруженных в процессе эксплуатации.

Наблюдения за вертикальными осадками проводятся в соответствии с разработанной проектной организацией программой исследований.

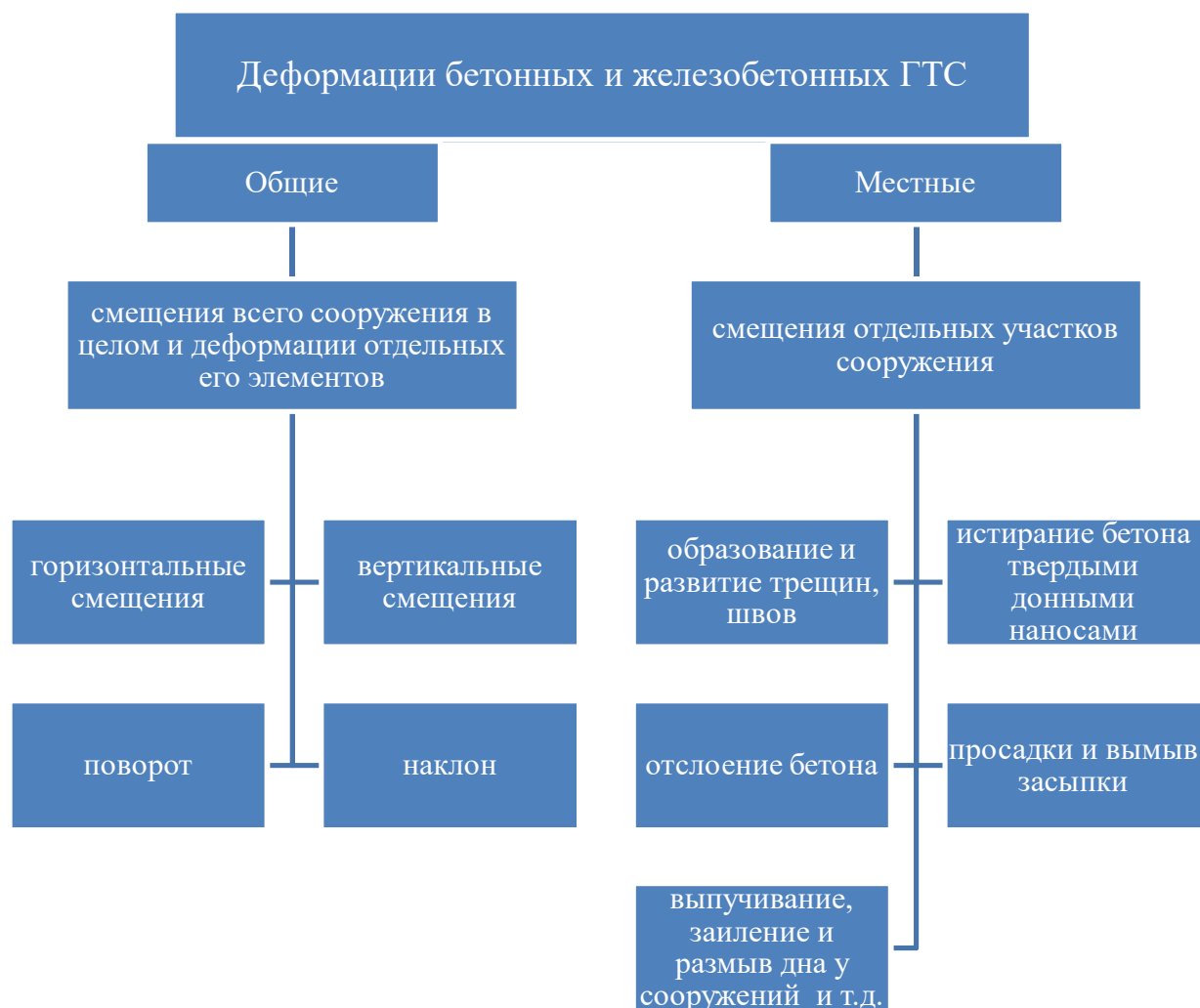


Рисунок 2.17 – Виды деформаций бетонных и железобетонных ГТС

Наблюдения за осадками позволяют оценить состояния сооружений в процессе эксплуатации на основании сравнения фактических значений осадок с расчетными и определить перечень необходимых мероприятий по устранению причин их вызвавших.

Осадки бетонных и железобетонных сооружений определяются нивелированием основных реперов, установленных на гидротехнических сооружениях.

По данным наблюдений строят графики изменения осадки характерных точек сооружений во времени. На графиках по горизонтали откладывается время наблюдений, а по вертикали откладываются осадки в мм. Если на протяжении ряда лет осадки сооружений находятся в пределах 1-2 мм в год, то имеет место их стабилизация.

Наблюдениями за фильтрацией воды выявляются участки с недостатками бетоном, к которым можно отнести сильную трещиноватость, пористость, плохое качество строительных швов, процессы суффозии, выщелачивание бетона фильтрующимися расходами воды, а также коррозионные воздействия среды на состояние бетон.

Интенсивная фильтрация наблюдается в тех местах, где плотности бетона понижена: трещины, строительные и температурные швы. При установившейся равномерной фильтрации расход относится на  $1 \text{ м}^2$  поверхности бетона на 1 погонный метр шва, а при сосредоточенной (местной) – к очагу фильтрации на дне сооружения. При малых фильтрационных расходах ограничиваются только качественной характеристикой фильтрующейся воды или с помощью щита с влагопоглощающим материалом проводят измерение расхода. Для этого щит прикладывается к поверхности бетона на некоторое количество времени, а затем проводят взвешивание (начальный вес должен быть определен заранее).

«Для измерения объемным способом фильтрационная вода отводится с данного участка лотками или другими приспособлениями в мерный сосуд. Величина значения фильтрации определяется с помощью воронки с резиновым уплотнением, прижимаемой к очагу фильтрации. Из воронки фильтрующаяся вода стекает по резиновому шлангу в мерный сосуд, где и накапливается в течение 10 минут».

В железобетонных галереях водосбросов могут наблюдаться выходы фильтрации в виде свищей. В этом случаях необходимо произвести их расчистку и устанавливать трубки диаметром 12-19 мм с фильтрами, которые располагают в контактной зоне железобетонной галереи с телом грунтовой плотины. Наличие таких трубок позволяет определить величину фильтрационных расходов и величину их изменения во времени, принять своевременные меры по предотвращению выноса грунта из тела плотины через свищи в галере. Также наличие трубок позволяет определить величину фильтрационного напора в зоне контакта при помощи устанавливаемых на трубках манометров внутри галере.

Сведения по результатам наблюдений за расходами воды из мест сосредоточенной фильтрации заносят в специальные журналы измерений фильтрационного расхода.

При выявлении крупных очагов фильтрации замеры расходов проводят ежедневно вплоть до их стабилизации или прекращения, а далее – не менее одного раза в месяц, в зависимости от конкретных условий местности. При увеличении расхода количество наблюдений увеличивают.

Для уменьшения фильтрации воды через бетон применяют меры в соответствии с рисунком 2.18.

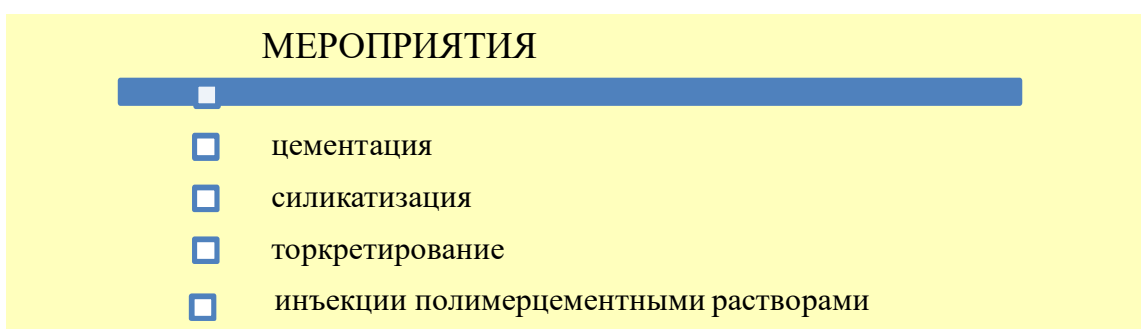


Рисунок 2.18 – Виды мероприятий по уменьшению фильтрации через бетонные сооружения

При появлении трещин, представляющих собой разрывы в отдельных конструкциях сооружений и возникающих вследствие неравномерной осадки, наличия внешних нагрузок и явлений усадки под действием температуры, необходимо проведение мер в соответствии с рисунком 2.19.

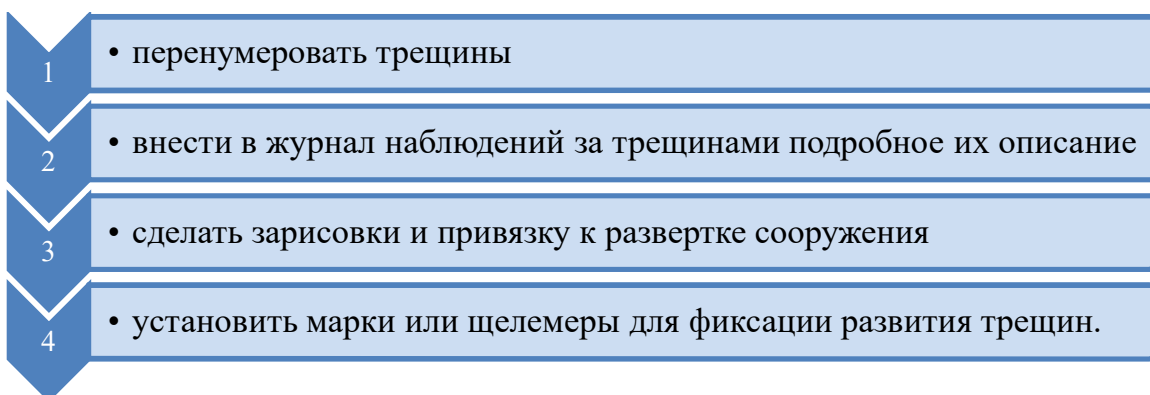


Рисунок 2.19 – Виды мероприятий при появлении трещин

Состояние и причина образования трещин определяются на основании систематических наблюдений за показателями установленных приборов.

Процесс возникновения и развития коррозии бетона и железобетона зависит от показателей в соответствии с рисунком 2.20



Рисунок 2.20 – Характеристики среды и бетонных и железобетонных сооружений, влияющие на возникновение и развитие коррозии

Характерной особенностью мест недостаточного уплотнения бетона является интенсивное выщелачивание свободной гидрокиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Пробы фильтрующейся через бетон воды берутся в характерных местах фильтрации с признаками коррозии бетона.

«Результаты измерения расходов фильтрации и титрования проб заносятся в журнал измерений расходов фильтрации и представляются в виде графиков, показывающих изменения по времени скорости фильтрации и количества выщелачиваемой извести для каждого места наблюдения в отдельности».

При помощи дискового прибора ДПГ- 4, эталонного молотка Кашкарова, молотка Физделя, пистолета Скрамтаева и других приборов осуществляются наблюдения за прочностью бетона.



Проверку прочности бетона в глубине массива или для более достоверной ее оценки в наружном слое проводят испытаниями образцов, изготовленных из взятых из тела сооружения проб бетона.

### 2.3 Состав и календарные сроки проведения наблюдений

В соответствии с Инструкцией по ведению мониторинга гидротехнических сооружений Крыма, разработанной эксплуатирующими организациями, проводятся виды наблюдений в соответствии с рисунком 2.21.

Анализ утвержденных Инструкций по ведению мониторинга гидротехнических сооружений на территории Республики Крым показал, что периодичность проведения данных видов наблюдений практически не отличается и имеют размытые черты привязки периодичности к индивидуальным условиям эксплуатации гидротехнических сооружений.

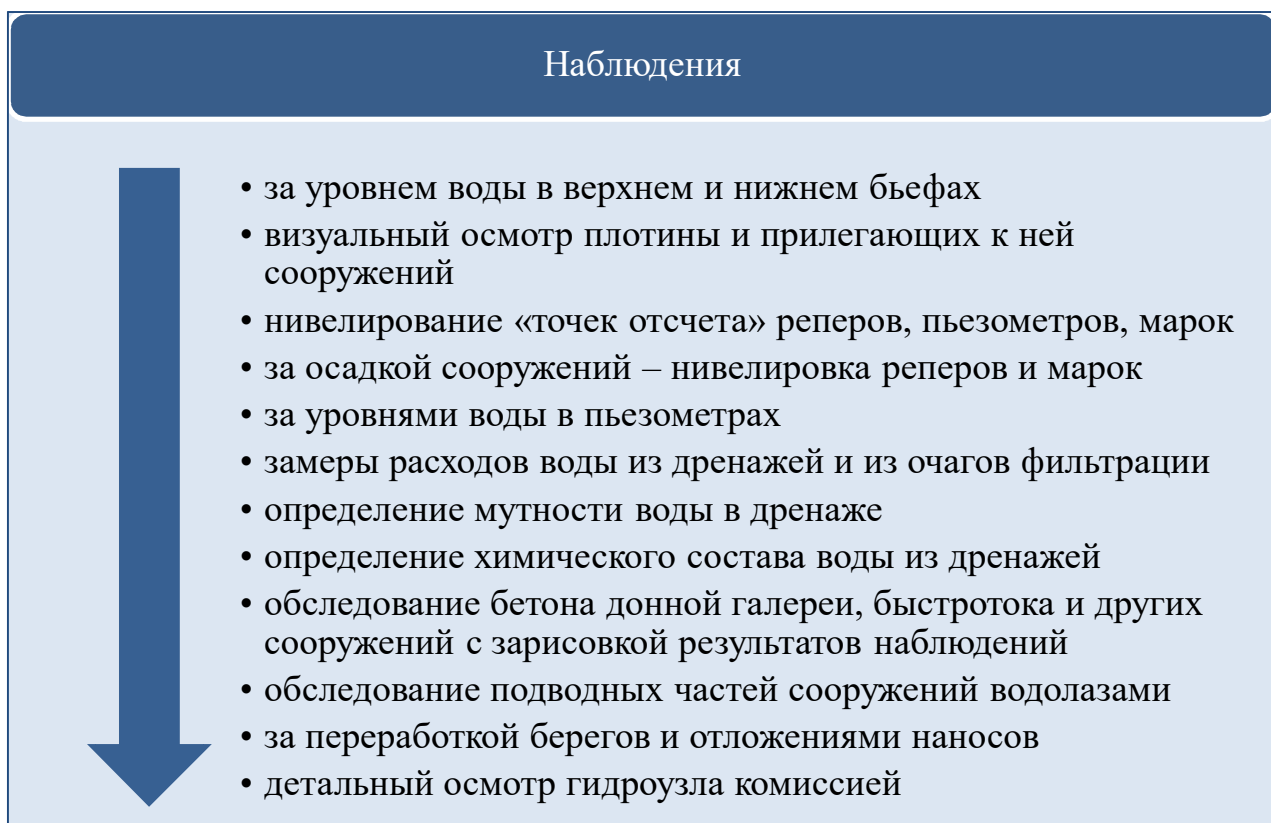


Рисунок 2.21 – Виды наблюдений по Инструкции по ведению мониторинга гидротехнических сооружений Крыма

В таблице 2.2 приведена периодичность проведения данных видов наблюдений в соответствии с Инструкцией по ведению мониторинга гидротехнических сооружений.

Корректировка состава и периодичности проведения мониторинга за состоянием водоподпорных гидротехнических сооружений не противоречит действующему законодательству, и должна быть установлена с учетом индивидуальных условий, в которых происходит эксплуатация гидротехнических сооружений, а именно: в зависимости от конкретных условий, режима работы водохранилища, срока его эксплуатации и степени сложности эксплуатации сооружения.

Таблица 2.2 – Состав и периодичность проведения наблюдений

№ п/п	Вид наблюдений	Периодичность
1	Наблюдение за уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах	ежедневно
2	Визуальный осмотр плотины и прилегающих к ней сооружений	1 раз в 5 дней
3	Нивелирование «точек отсчета» реперов, пьезометров, марок	2 раза в год
4	Наблюдение за осадкой сооружений – нивелировка реперов и марок	1 раз в месяц
5	Замер уровней воды в пьезометрах	1 раз в месяц
6	Замеры расходов воды из дренажей из очагов фильтрации.	1 раз в месяц
7	Определение мутности воды в дренаже	1 раз в месяц
8	Определение химического состава воды из дренажей	по особому заданию
9	Обследование бетона донной галереи, быстROTOка и др. сооружений с зарисовкой результатов наблюдений	1 раз в квартал
10	Обследование подводных частей сооружений водолазами	1 раз в 3 года
11	Наблюдения за переработкой берегов и отложениями наносов	1 раз в квартал
12	Детальный осмотр гидроузла комиссией	2 раза в год

## 2.4 Выводы по главе 2

1. Применяемая в настоящее время система мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Республики Крым обозначает состав наблюдений и отвечает на все вопросы, которые могут возникнуть при проведении наблюдений за состоянием ГТС.

2. Анализ утвержденной документации по ведению мониторинга состояния ГТС показал, что периодичность проведения наблюдений установлена без учета конкретных условий эксплуатации гидротехнических сооружений.

3. Условия эксплуатации ГТС на территории Республики Крым таковы, что унифицированный подход к осуществлению мониторинга состояния водоподпорных ГТС, применяемый к гидротехническим сооружениям в Российской Федерации, не позволяет учесть все их параметры и особенности эксплуатации.

4. Учитывая результаты анализа действующей системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений выявлено, что в утвержденной документации положение об организации наблюдений имеет высокую степень обобщения. Это не может обеспечить оптимизацию системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений, поэтому целесообразно уточнить факторы, влияющие на проведение наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений, а именно «конкретные условия», «режим работы водохранилища», «срок эксплуатации сооружения» и «степень сложности».

### 3. Характеристика факторов, влияющих на особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений

Особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений зависят от следующих факторов их эксплуатации:

- конкретных условий;
- режима работы водохранилища;
- срока эксплуатации сооружения;
- степени сложности эксплуатации.

Степень влияния каждого из факторов эксплуатации объектов на особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений следует считать равной.

Далее подробно рассмотрим характеристику каждого из факторов, влияющих на особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений

#### 3.1 Конкретные условия

К конкретным условиям в соответствии с рисунком 3.1 относятся природные и техногенные параметры. К природным условиям относятся рельеф, структура и состав пород основания, гидрогеологические, гидрометеорологические и сейсмические условия. Техногенные параметры условно делятся на проектно-технологические и строительно-технологические параметры.

Рельеф территории оценивается исходя из простоты проведения строительных работ. Горный рельеф осложняет подъезд техники и персонала, подвоз строительных материалов к месту строительства. На равнинной территории, по сравнению с горной и предгорной, подобные сложности проведения работ отсутствуют.

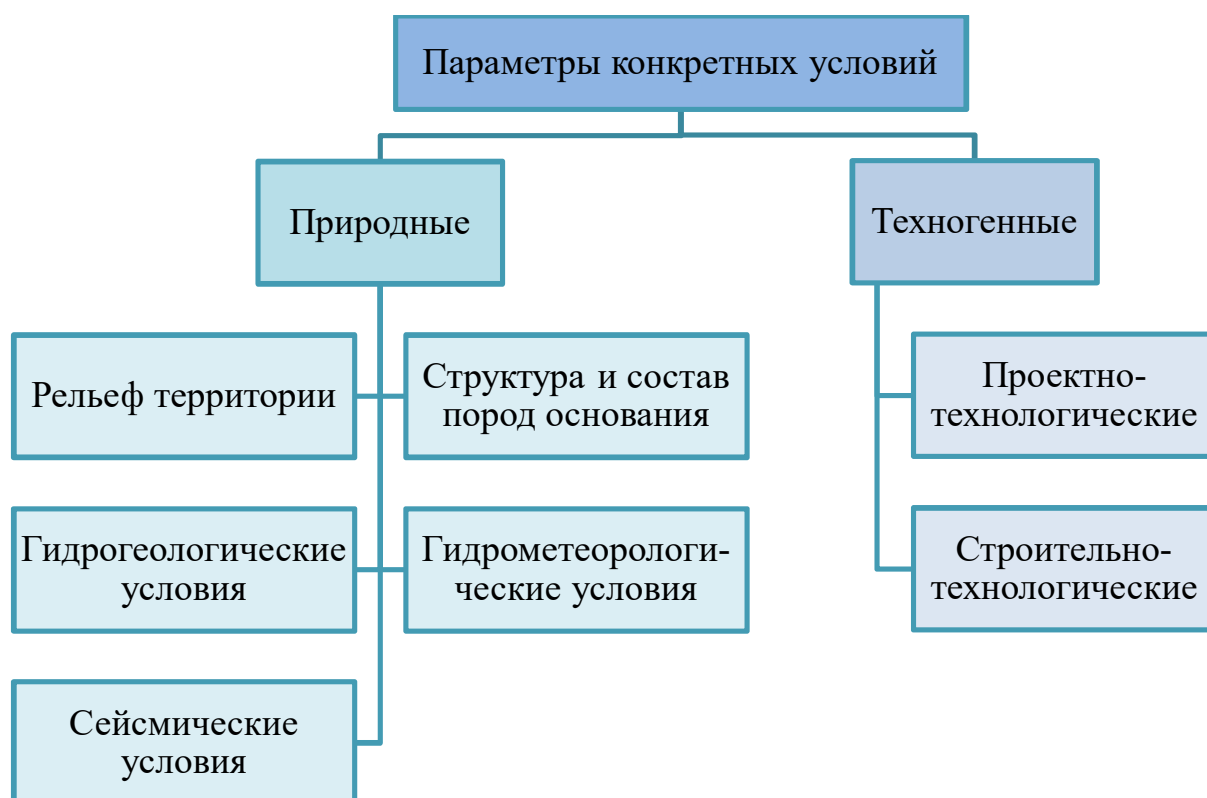


Рисунок 3.1 – Параметры конкретных условий эксплуатации ГТС

Рельеф территории, как и особенности пород основания, определяет конструктивные особенности возводимых на них водоподпорных гидротехнических сооружений. В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 2 ноября 2013 года № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [23] грунты основания подразделяются на три типа: скальные; песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии; глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии. Скальные типы грунтов оснований ГТС наиболее устойчивы против нагрузок, возникающих от водоподпорных гидротехнических сооружений и в период их эксплуатации. Глинистые водонасыщенные грунты оснований в пластичном состоянии испытывают значительные деформации от изменения нагрузок, поэтому устанавливаются более жесткие требования к принимаемым конструктивным решениям и режимам эксплуатации водоподпорных ГТС. В сравнении со скальными и глинистыми водонасыщенными грунтами в пластичном состоянии, песчаные

грунты условно считаются средними в отношении предъявляемых требований к возводимым на них водоподпорным гидротехническим сооружениям..

Гидрогеологические условия устанавливают требования к водоподпорным ГТС в зависимости от глубины залегания грунтовых вод к месту их строительства и эксплуатации. Если уровень залегания грунтовых вод на территории менее 1,5 м, то условия строительства или эксплуатации ГТС следует считать наиболее сложными и требующими принятия дополнительных мер для понижения уровня грунтовых вод в целях обеспечения безопасности ГТС. При залегании грунтовых вод от 1,5 м до 3 м условия считаются сложными. Если грунтовые воды не обнаружены до глубины 3 м, условия следует считать не сложными.

Гидрометеорологические условия и их влияние на строительство и эксплуатацию водоподпорных ГТС можно оценить на основе природного зонирования территорий, характеризующегося различиями климата, растительности и почв. Отличия эти вызваны разной степенью соотношения тепла и влаги. Показатель этого соотношения был назван гидротермическим коэффициентом или индексом сухости  $I_c$ , который определяется по формуле [17, с.36]:

$$I_c = \frac{R}{L \cdot O_c} \quad (3.1)$$

где  $R$  – радиационный баланс почвы, мм;

$L$  – удельная теплота парообразования, мм;

$O_c$  – количество осадков, мм.

Данное соотношение показывает достаточность приходящего к поверхности тепла для испарения всех выпавших на поверхности осадков. По степени сбалансированности приходящего тепла и водных ресурсов выделяют следующие климатические зоны:

- зона избыточного увлажнения ( $I_c > 0,9$ );
- зона достаточного и неустойчивого увлажнения ( $0,9 \geq I_c > 1,4$ );
- засушливая зона ( $1,4 \geq I_c > 3$ );

– острозасушливая (пустынная) зона ( $I_c \geq 3$ ).

Согласно [25] сейсмические условия считаются нормальными, если очаги землетрясения вызывают сейсмические воздействия интенсивностью 6 и менее баллов. Сложными и опасными следует считать сейсмические условия, при которых интенсивность сейсмических воздействий равна или превышает 8 баллов.

Проектно-технологические параметры включают конструктивные особенности сооружений (наличие или отсутствие переходных зон, фильтров, сопряжений, зубьев, бетонных подушек, цементации, облицовок, покрытий, креплений, противофильтрационных и дренажных завес) их параметры и структура, а также ошибки проведенных изысканий и принятых проектных решений, свойства материалов и грунтов, а также установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) и систем оперативной обработки контрольной и диагностической информации.

Нагрузки и воздействия строительного периода (поровое давление, нагрузки от строительных механизмов, давление цементации и др.), дефекты производства работ (наличие недоуплотненных зон и др.), изменение в пространстве и времени показателей физико-механических свойств материалов и грунтов, конструкций, увязанных с технологией строительства, особые техногенные воздействия и работоспособность временных сооружений относятся к строительно-технологическим параметрам конкретных условий.

### 3.2 Режим работы водохранилища

Режим работы в соответствии с рисунком 3.2 характеризуется режимами наполнения и сработки водохранилища, который напрямую зависит от гидрологических характеристик источника наполнения водохранилища. В частности, если источником наполнения водохранилища является река, водный режим реки определяет режим работы ГТС, расположенных по руслу реки.

Соответственно различают водохранилища суточного, недельного, сезонного и многолетнего регулирования.

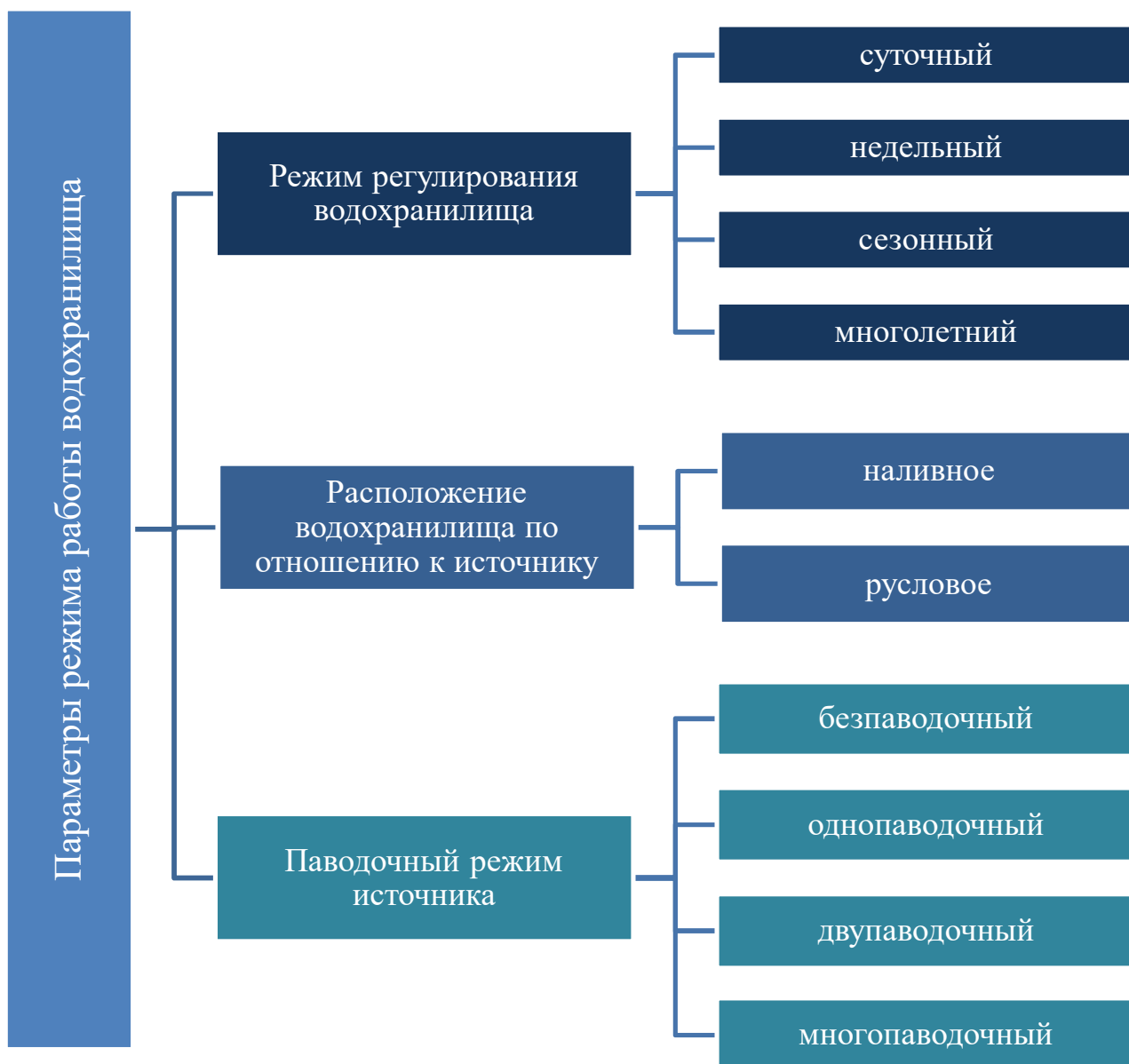


Рисунок 3.2 – Параметры режима работы водохранилища

Водоохранилища суточного регулирования предназначены для равномерного перераспределения стока реки в течении суток с неравномерным водопотреблением.

В водохранилищах недельного регулирования перераспределение практически равномерного стока реки происходит в течение недели.

Водоохранилища сезонного и многолетнего регулирования стока предназначены для перераспределения стока из многоводных сезонов года в



маловодные и из многоводных и средневодных лет в маловодные соответственно.

«На режим работы водохранилища и его изменение также влияет аккумуляция наносов и загрязнений в водохранилище, «цветение» водохранилища, фильтрация через тело сооружения, ложе и борта водохранилища, регулирование стока, кавитационная опасность, абразивная опасность берегов и оснований сооружений в верхнем и нижнем бьефах, изменение уровня режима в нижнем бьефе вследствие трансформации русла, повреждение элементов конструкций (облицовок, креплений и т.п.) в результате эксплуатационных, природных, антропогенных и др. воздействий, особые эксплуатационные воздействия, среди которых сбросы экстремальных расходов воды и наносов из водохранилища и др., постоянных сооружений и объектов, выполняющих особые функции (водосбросных сооружений, механического оборудования, противофильтрационных и дренажных устройств и пр.)».

### 3.3 Срок эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений

Срок эксплуатации водоподпорных ГТС в соответствии с рисунком 3.3 условно можно разделить на 4 периода в зависимости от интенсивности повреждений водоподпорных ГТС от времени, а именно: строительство и ввод в эксплуатацию ГТС; первые годы эксплуатации, в которые происходит «приработка» всех конструкций ГТС; нормальная эксплуатация; переход в предельное состояние. [20]

В период «приработки» происходит перераспределение усилий в конструкциях и основаниях, поровое давление в глинистых грунтах рассеивается, бетон набирает прочность, проявляются дефекты производства работ. Этот этап может длиться десятилетия, а продолжительность его зависит от длительности наполнения водохранилища, строительства, особенностей сооружений, оснований и других факторов, характеризующих процесс

вписывания ГТС в окружающую среду. В этот период наблюдения за показателями состояния ГТС должны проводиться с большей периодичностью.



Рисунок 3.3 – Параметры срока эксплуатации водоподпорных ГТС

Завершение периода «приработки» характеризуется переходом показателей состояния водоподпорных ГТС из динамического состояния в статическое. Наступает период нормальной эксплуатации ГТС.

Переход в предельное состояние водоподпорных ГТС наступает при приближении фактического срока эксплуатации ГТС к проектному, когда происходит старение материалов сооружений, износ конструкций и т.п., что может привести к нарушению нормальной эксплуатации водоподпорных ГТС.

Если в период эксплуатации обеспечивается недопущение перехода в предельное состояние путем надежного контроля за состоянием объекта, профилактики, ремонта и реконструкции, то срок эксплуатации водоподпорных ГТС может быть неограниченным.

### 3.4 Степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений

Степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений определяется конкретными условиями. Для определения степени сложности эксплуатации водоподпорных ГТС условно выделим несколько групп показателей в соответствии с рисунком 3.4.

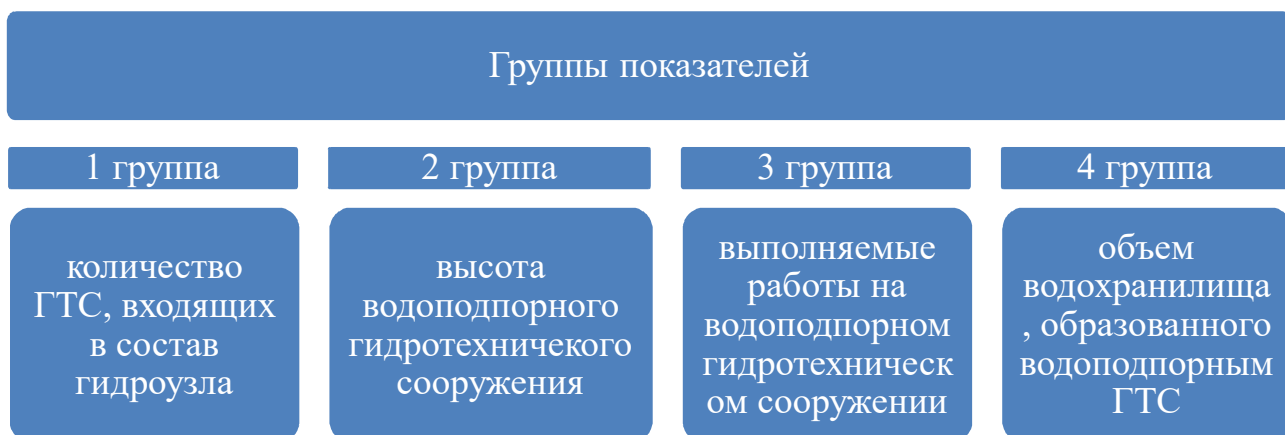


Рисунок 3.4 – Группы показателей степени сложности эксплуатации водоподпорных ГТС

Первая группа показателей описывает степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по количеству гидротехнических сооружений, входящих в состав гидроузла.

В случае, когда в составе гидроузла отсутствуют, единично присутствуют или совмещены водозаборные, водосбросные, водовыпускные или оградительные сооружения, степень сложности определяется как первая (I степень). II степень сложности эксплуатации характеризуется вариацией наличия водозаборных, водосбросных, водовыпускных или оградительных сооружений в количестве от двух до трех сооружений в составе гидроузла. Если для случая II степени сложности имеет место совмещение водозаборных, водосбросных, водовыпускных или оградительных сооружений, а также имеется 2-3 сооружения, сопрягающих водоподпорное сооружение с основанием, то степень сложности следует считать третьей (III степень).

Наиболее сложной считается эксплуатация гидроузлов, в состав которых входит более трех единиц водозаборных, водосбросных, водовыпускных, оградительных сооружений, а также когда сопряжение сооружения с основанием выполнено более чем тремя способами. В этом случае присваивается IV степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС.

По высоте водоподпорного гидротехнического сооружения выделяется вторая группа показателей.

В соответствии с [23] водоподпорные гидротехнические сооружения можно разделить на четыре группы. Чем выше грунтовая или бетонная плотина, тем выше степень сложности ее эксплуатации.

Третья группа показателей «Выполняемые работы на водоподпорном ГТС» – это требования, предъявляемые к персоналу.

В период эксплуатации водоподпорных ГТС, эксплуатирующим персоналом, могут проводиться различные виды работ, такие как осмотры, промерные работы, сварочные и огневые виды работ, работы на высоте, водолазные работы и другие. Наличие или отсутствие тех или иных видов работ предъявляет особые требования к квалификации эксплуатирующего персонала и, соответственно, оказывает влияние на степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС.

Четвертая группа характеризует степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС с точки зрения объема водохранилища, образуемого водоподпорным сооружением и сооружениями, входящими в состав гидроузла.

По объему подпора воды, образуемого гидротехническими сооружениями, степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС можно представить в виде I, II, III и IV степени, из которых IV степени сложности эксплуатации соответствует объем свыше 60 млн. м<sup>3</sup> для грунтовых плотин и более 150 млн. м<sup>3</sup> для бетонных и железобетонных плотин.

### 3.5 Выводы по главе 3

1. По оценке специалистов и выполненному по главе анализу сущности состояния водоподпорных ГТС мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений зависят от следующих факторов: конкретных условий, режима работы водохранилища, срока и степени сложности эксплуатации водоподпорных ГТС.

2. Характеристика каждого из факторов, влияющих на проведение мониторинга состояния водоподпорных ГТС, позволяет оценить степень влияния каждого из факторов на систему мониторинга состояния водоподпорных ГТС по качественным показателям состояния.

3. Для оценки степени влияния каждого фактора на периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений необходим комплексный подход к переходу от качественных показателей к численным.

#### 4. Методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений

##### 4.1 Общие положения

С целью систематизации и оценки факторов, влияющих на правильную эксплуатацию ГТС и, соответственно, на особенности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений предлагается методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных сооружений.

В основе методики предлагается категориальный подход, учитывающий влияние приведенных к единому масштабу параметров факторов, влияющих на эксплуатацию и проведение наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС, уточненных по результатам анализа 3 главы, а именно: конкретных условий, режима работы водохранилища, срока и степени сложности эксплуатации водоподпорных ГТС.

Категориальный метод оценки реализуется с учетом анализа регионального опыта эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Виды категорий водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга под влиянием системы факторов эксплуатации водоподпорных ГТС

Степень влияния факторов эксплуатации водоподпорных ГТС на систему их мониторинга	Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга
незначительная	1 категория
ниже среднего	2 категория
средняя	3 категория
высокая	4 категория

Данный подход реализован в методике определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных сооружений и в каждом пункте раскрыты особенности его применения.

#### 4.2 Процедура определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений

1. Проводится оценка влияния конкретных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС на основе определенных и систематизированных в пункте 3.1 природных и техногенных параметров (таблицы 4.2 и 4.3).

Таблица 4.2 – Система оценки влияния конкретных природных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные природные условия эксплуатации водоподпорного ГТС		Оценка влияния параметра, балл
I Природные			
1	Рельеф	равнинный	1
		предгорный	2
		горный	3
2	Структура и состав пород основания	скальные	1
		песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии	2
		глинистые водонасыщенные в пластичном состоянии	3
3	Гидрогеологические	уровень залегания грунтовых вод $\leq 1.5$ м	3
		уровень залегания грунтовых вод 1.5-3 м	2
		уровень залегания грунтовых вод $\geq 3$ м	1
4	Гидрометеорологические	зона избыточного увлажнения ( $I_c > 0,9$ )	4
		зона достаточного и неустойчивого увлажнения ( $0,9 \geq I_c > 1,4$ )	2
		засушливая зона ( $1,4 \geq I_c > 3$ )	3
		острозасушливая зона ( $I_c \geq 3$ )	1
5	Сейсмические	интенсивность сейсмических воздействий $\leq 6$ баллов	1
		интенсивность сейсмических воздействий 6-7 баллов	2
		интенсивность сейсмических воздействий $\geq 8$ баллов	3

Таблица 4.3 – Система оценки влияния конкретных техногенных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные техногенные условия эксплуатации водоподпорного ГТС	Характеристика параметра	Оценка влияния параметра, балл
<b>II Техногенные</b>			
1	<b>Проектно-технологические</b>		
1.1	наличие переходных зон, фильтров, сопряжений, зубьев, бетонных подушек, цементации, облицовок, покрытий, креплений, противofiltrационных и дренажных завес	да	1 балл за каждый показатель
		нет	0
1.2	ошибки проведенных изысканий и принятых проектных решений	да	1
		нет	0
1.3	соответствие свойств материалов и грунтов	да	0
		нет	1
1.4	установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)	да	1
		нет	0
1.5	установка системы оперативной обработки контрольной и диагностической информации	да	1
		нет	0
2	<b>Строительно-технологические</b>		
2.1	нагрузки и воздействия строительного периода	превышение	1
		расчетные	0
2.2	дефекты производства работ	есть	1
		нет	0
2.3	изменение показателей физико-механических свойств материалов и грунтов, увязанных с технологией строительства	есть	1
		нет	0
2.4	изменение показателей физико-механических свойств конструкций, увязанных с технологией строительства	есть	1
		нет	0
2.5	особые техногенные воздействия	да	1
		нет	0
2.6	работоспособность временных сооружений	да	0
		нет	1

На основе результатов оценки влияния природных и техногенных параметров фактора «конкретные условия» на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС (таблицы 4.2 и 4.3) определяется сумма баллов по каждой группе показателей. В зависимости от полученной суммы баллов проводится



градация водоподпорных ГТС по категориям водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга (таблица 4.4)

Таблица 4.4 – Приведение к единому масштабу оценки влияния фактора «конкретные условия» и категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга

Группа параметров	Суммарная оценка по группе	Суммарная оценка по фактору	Интервалы оценки по фактору	Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений $I_f$
Природные	$\Sigma_p$	$\Sigma$	< 3	1
			4 ... 15	2
Техногенные	$\Sigma_t$		16 ... 29	3
			> 30	4

2. Проводится оценка влияния режима работы водохранилища на эксплуатацию водоподпорных ГТС на основании определенных и систематизированных в пункте 3.2 параметров (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Система оценки влияния режима работы водохранилища на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС

№ п/п	Параметры, влияющие на режим работы водохранилища	Группы параметров работы водохранилища			
		I группа параметров	балл	II группа параметров	балл
1	режим регулирования водохранилища	суточный, недельный, сезонный	1	многолетний	2
2	расположение водохранилища по отношению к источнику	наливное	1	русловое	2
3	паводочный режим источника	безпаводочный, однопаводочный	1	двупаводочный и более	2

На основе результата оценки влияния параметров фактора «режим работы водохранилища» на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС (таблица 4.5) определяется сумма баллов по каждой группе показателей. В зависимости от

полученной суммы баллов проводится градация водоподпорных ГТС по категориям водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга (таблица 4.6)

Таблица 4.6 – Приведение к единому масштабу оценки влияния фактора «режим работы водохранилища» и категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга

Суммарная оценка по фактору «режим работы водохранилища»	Категория ГТС по периодичности проведения наблюдений $I_2$
3	1
4	2
5	3
6	4

3. Проводится оценка влияния определенного и систематизированного в пункте 3.3 фактора «срок эксплуатации» водоподпорных ГТС и градация водоподпорных ГТС по категориям водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга (таблица 4.7)

Таблица 4.7 – Система оценки влияния срока эксплуатации водоподпорных ГТС на категорию водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга

Наименование периода эксплуатации водоподпорных ГТС	Срок эксплуатации водоподпорных ГТС, год	Интенсивность повреждений водоподпорных ГТС от времени, 1/год [5]	Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений $I_3$
Период строительства и ввода в эксплуатацию	< 20	> 0,15	4
Период первых лет эксплуатации («приработки»)	20-50	0,15-0,05	2
Период нормальной эксплуатации	50-70	< 0,05	1
Период перехода в предельное состояние	> 70	> 0,05	3

4. Проводится оценка влияния определенного и систематизированного в пункте 3.4 фактора «степень сложности эксплуатации» водоподпорных гидротехнических сооружений на основании четырех групп показателей (таблицы 4.8 – 4.11).

Таблица 4.8 – Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по количеству ГТС в составе гидроузла (1 группа показателей)

№ п/п	Тип ГТС гидроузла	Степень сложности эксплуатации ГТС							
		I		II		III		IV	
1	Водоподпорное грунтовое сооружение	1	-	1	-	1	-	1	-
2	Водоподпорное бетонное сооружение	-	1	-	1	-	1	-	1
3	Водозаборное сооружение	≤1	≤1	2-3	2-3	2-3	2-3	>3	>3
4	Водосбросное сооружение	≤1	≤1	2-3	2-3			>3	>3
5	Водовыпускное сооружение	≤1	≤1	2-3	2-3			>3	>3
6	Сооружение, сопрягающее водоподпорное сооружение с основанием	≤1	≤1	2-3	2-3	2-3	2-3	>3	>3
7	Оградительное сооружение	≤1	≤1	2-3	2-3	2-3	2-3	>3	>3

Таблица 4.9 – Степень сложности эксплуатации ГТС по высоте плотины, м (2 группа показателей)

№ п/п	Тип водоподпорного ГТС	Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС			
		I	II	III	IV
1	Плотины из грунтовых материалов	≤15	15-35	35-60	≥60
2	Плотины бетонные, железобетонные	≤10	10-25	25-50	≥50

Таблица 4.10 – Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по выполняемым работам на водоподпорных ГТС (3 группа показателей)

№ п/п	Вид работ при эксплуатации водоподпорных ГТС	Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС			
		I	II	III	IV
1	Подъем и транспортирование тяжестей с помощью автокрана	-	-	+	+
2	Работа на высоте	-	-	+	+
3	Сварочные и другие огневые работы	-	+	+	+
4	Работа в подземных сооружениях, резервуарах, шурфах и трубопроводах	-	+	+	+
5	Торкретные, цементационные и бетонные работы	+	+	+	+
6	Изоляционные работы	+	+	+	+
7	Очистка поверхностей и окрасочные работы	+	+	+	+
8	Очистка водохранилищ от наносов	-	-	-	+
9	Промерные работы	+	+	+	+
10	Водолазные работы	-	-	-	+

Таблица 4.11 – Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по объему водохранилища, млн. м<sup>3</sup> (4 группа показателей)

Тип водоподпорного ГТС	Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС			
	I	II	III	IV
Плотины из грунтовых материалов	≤10	10-35	35-60	≥60
Плотины бетонные, железобетонные	≤50	50-100	≥100	≥150

По каждой группе показателей степени сложности эксплуатации водоподпорных ГТС фиксируется степень сложности. Если степень сложности

невозможно установить однозначно, то следует назначить высшую степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС среди возможных.

На основе результатов оценки влияния параметров фактора «степень сложности эксплуатации» водоподпорных ГТС проводится градация водоподпорных ГТС по категориям водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга (таблица 4.12)

Таблица 4.12 – Приведение к единому масштабу оценки влияния фактора «степень сложности эксплуатации» и категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга

Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС	Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений $I_4$
I степень	1
II степень	2
III степень	3
IV степень	4

5. Определяется обобщающий показатель категории ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга  $K$  по следующей формуле:

$$K = q \cdot \sqrt[n]{\prod_i^n I_i} \quad (4.1)$$

где  $q$  – коэффициент неучтенных рисков, вводимый на экспертной основе и принимаемый равным  $q = 1,1$ ;

$n$  – общее количество факторов, для которых определяется категория влияния на периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга;

$I_i$  – категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по  $i$ -му фактору (таблицы 4.4, 4.6, 4.7 и 4.12);

6. В зависимости от значения обобщающего показателя категории водоподпорного ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга  $K$  проводится корректировка периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга для конкретного водоподпорного ГТС (таблица 4.13).

Таблица 4.13 – Периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС

Вид наблюдений за состоянием водоподпорных ГТС		Категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС			
		I категория < 1,5	II категория 1,5 ÷ 2,5	III категория 2,5 ÷ 3,5	IV категория ≥ 3,5
Визуальные наблюдения	Наблюдения за колебаниями уровней воды в верхнем и нижнем бьефах	ежедневно	ежедневно	ежедневно	ежедневно
	Визуальный осмотр сооружений, входящих в состав гидроузла	ежедневно	ежедневно	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за ливнеотводами и дренажными устройствами	1 раз в квартал	2 раза в квартал	1 раз в месяц	2 раз в месяц
	Осмотр подводных частей сооружений водолазами	1 раз в года	2 раза в год	3 раза в год	1 раз в квартал
	Обследование креплений откосов	1 раз в квартал	1 раз в месяц	2 раза в месяц	ежедневно
	Обследование бетона донных галерей, быстротоков, других бетонных и железобетонных сооружений с зарисовкой результатов наблюдений на развертках поверхностей	1 раз в квартал	2 раза в квартал	1 раз в месяц	3 раза в месяц
	Наблюдения за образованием и таянием льда	1 раз в неделю	2 раза в неделю	1 раз в 2 суток	ежедневно
Инструментальные наблюдения	Нивелирование «точек отсчета» реперов, срезом труб пьезометров, марок	1 раз в год	2 раза в год	1 раз в квартал	1 раз в месяц
	Замеры уровней воды в пьезометрах	1 раз в месяц	2 раза в месяц	3 раза в месяц	1 раз в неделю
	Замеры уровней воды в пьезометрах при резкой смене режима работы (быстрого наполнения и сработки) водохранилища	1 раз в 5 суток	1 раз в 3 суток	1 раз в 2 суток	ежедневно
	Наблюдения за расходами воды в дренажах	1 раз в квартал	2 раза в квартал	1 раз в месяц	2 раз в месяц
	Наблюдения за расходами воды в дренажах во время паводка или обильных дождей	ежедневно	ежедневно	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за расходами воды в очагах фильтрации	ежедневно	ежедневно	ежедневно	2 раза в сутки
	Отбор проб воды на химический анализ	1 раз в года	2 раза в год	1 раз в квартал	2 раза в квартал
	Наблюдения за переработкой берегов и отложениями наносов	после прохождения паводка и при резкой смене режима работы водохранилища		2 раза в год	1 раз в квартал
Детальный осмотр сооружений комиссией с составлением актов обследования		1 раз в год после паводка	2 раз в год после паводка и в конце года	1 раз в квартал	1 раз в квартал

5 Апробация методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС в отношении водоподпорных ГТС Республики Крым.

Проведем апробацию методики определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС в отношении некоторых водоподпорных ГТС Республики Крым. Для этого выбираем водоподпорные гидротехнические сооружения Бахчисарайского, Симферопольского и Белогорского водохранилищ.

5.1 Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Бахчисарайского водохранилища

Согласно методике определяется периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС Бахчисарайского водохранилища в следующей последовательности.

1. Проводится оценка влияния природных и техногенных параметров фактора «конкретные условия» на сложность эксплуатации водоподпорного ГТС (таблицы 5.1 и 5.2).

Таблица 5.1 – Оценка влияния конкретных природных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Бахчисарайского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные природные условия эксплуатации водоподпорного ГТС		Оценка влияния параметра, балл
1	2		3
I Природные			
1	Рельеф	предгорный	2
2	Структура и состав пород основания	песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии	2

1	2		3
3	Гидрогеологические	Сведения о гидрогеологических условиях отсутствуют	
4	Гидрометеорологические	засушливая зона ( $I_c = 2.7$ )	3
5	Сейсмические	интенсивность сейсмических воздействий 7 баллов	2
			$\Sigma_{п}$ 9

Таблица 5.2 – Оценка влияния конкретных техногенных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Бахчисарайского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные техногенные условия эксплуатации водоподпорного ГТС	Характеристика параметра	Оценка влияния параметра, балл
1	2	3	4
<b>II Техногенные</b>			
1	Проектно-технологические		
1.1	Бетонный зуб, цементационная завеса противofильтрационный экран	да	3
1.2	ошибки проведенных изысканий и принятых проектных решений	нет	0
1.3	соответствие свойств материалов и грунтов	да	0
1.4	установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)	да	1
1.5	установка системы оперативной обработки контрольной и диагностической информации	нет	0
2	Строительно-технологические		
2.1	нагрузки и воздействия строительного периода	расчетные	0
2.2	дефекты производства работ	нет	0
2.3	изменение показателей физико-механических свойств материалов и грунтов, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.4	изменение показателей физико-механических свойств конструкций, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.5	особые техногенные воздействия	нет	0
2.6	работоспособность временных сооружений	да	0
			$\Sigma_{т}$ 4



Сумма баллов по фактору «конкретные условия» равна 13 баллам. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга в соответствии с таблицей 4.4 составляет  $I_1=2$ .

2. Проводится оценка влияния режима работы водохранилища на эксплуатацию водоподпорных ГТС (таблица 5.3).

Таблица 5.3 – Оценка влияния режима работы водохранилища на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Бахчисарайского водохранилища

№ п/п	Параметры, влияющие на режим работы водохранилища	Значение параметров работы водохранилища		
		значение параметра	балл	
1	режим регулирования водохранилища	сезонный	1	
2	расположение водохранилища по отношению к источнику	наливное	1	
3	паводочный режим источника	двупаводочный	2	
			$\Sigma$	4

Сумма баллов по фактору «режим работы водохранилища» равна 4. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.6 составляет  $I_2=2$ .

3. Фактический срок эксплуатации водоподпорных ГТС Бахчисарайского водохранилища более 80 лет (дата ввода в эксплуатацию – 1935 год, (после реконструкции - 1980г). Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга в соответствии с таблицей 4.7 равна  $I_3=3$

4. Определяется степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений.

В состав гидроузла Бахчисарайского водохранилища входит водоподпорная грунтовая плотина, оградительная дамба, водозаборное

сооружение, водовыпускное сооружение, бетонный зуб, сопрягающий плотину с основанием. Количество каждого ГТС в составе гидроузла не превышает единицы, поэтому по 1 группе показателей степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС определяется I.

Максимальная высота плотины Бахчисарайского водохранилища составляет 20,70 м. Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 2 группе показателей – II.

Службой эксплуатации ГТС Бахчисарайского водохранилища проводятся сварочные, промерные работы, работы в подземных сооружениях, цементационные и бетонные работы, работы по очистке и покраске поверхностей, изоляционные работы, в соответствии с чем Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 3 группе показателей – II.

Полный объем Бахчисарайского водохранилища составляет 6,89 млн. м<sup>3</sup>, поэтому степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 4 группе показателей – I.

Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по всем показателям определяется неоднозначно: I или II степень сложности, тогда назначается II степень сложности эксплуатации ГТС. Категория ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.12 составляет  $I_4=2$

5. Определяется обобщающий показатель категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга  $K$  по формуле (4.1):

$$K = 1,1 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 2} = 2,43$$

6. На основании таблица 4.13 назначается периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния для водоподпорного ГТС Бахчисарайского водохранилища (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорного ГТС Бахчисарайского водохранилища

Вид наблюдений за состоянием водоподпорных ГТС		Периодичность проведения наблюдений	
		утвержденная	определенная по методике ( $K=2,43$ )
Визуальные наблюдения	Наблюдения за колебаниями уровней воды в верхнем и нижнем бьефах	ежедневно	ежедневно
	Визуальный осмотр сооружений, входящих в состав гидроузла	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за ливнеотводами и дренажными устройствами	1 раз в квартал	2 раза в квартал
	Осмотр подводных частей сооружений водолазами	-	2 раза в год
	Обследование креплений откосов	1 раз в квартал	1 раз в месяц
	Обследование бетона донных галерей, быстотоков, других бетонных и железобетонных сооружений с зарисовкой результатов наблюдений на развертках поверхностей	не реже 1 раз в неделю	2 раза в квартал
	Наблюдения за образованием и таянием льда	-	2 раза в неделю
Инструментальные наблюдения	Нивелирование «точек отсчета» реперов, срезов труб пьезометров, марок	1 раз в год	2 раза в год
	Замеры уровней воды в пьезометрах	1 раз в месяц	2 раза в месяц
	Замеры уровней воды в пьезометрах при резкой смене режима работы (быстрого наполнения и сработки) водохранилища	1 раз в 5 дней	1 раз в 3 суток
	Наблюдения за расходами воды в дренажах	1 раз в квартал	2 раза в квартал
	Наблюдения за расходами воды в дренажах во время паводка или обильных дождей	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за расходами воды в очагах фильтрации	1 раз в квартал	ежедневно
	Отбор проб воды на химический анализ	1 раз в 3 года	2 раза в год
Наблюдения за переработкой берегов и отложениями наносов	-	после прохождения паводка и при резкой смене режима работы водохранилища	
Детальный осмотр сооружений комиссией с составлением актов обследования		1 раз в квартал	2 раз в год после паводка и в конце года

## 5.2 Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Симферопольского водохранилища

Согласно методике определяется периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС Симферопольского водохранилища в следующей последовательности.

1. Проводится оценка влияния природных и техногенных параметров фактора «конкретные условия» на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС (таблицы 5.5 и 5.6).

Таблица 5.5 – Оценка влияния конкретных природных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Симферопольского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные природные условия эксплуатации водоподпорного ГТС		Оценка влияния параметра, балл
1	2		3
<b>I Природные</b>			
1	Рельеф	предгорный	2
2	Структура и состав пород основания	песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии	2
3	Гидрогеологические	Сведения о гидрогеологических условиях отсутствуют	
4	Гидрометеорологические	засушливая зона ( $I_c = 2.7$ )	3
5	Сейсмические	интенсивность сейсмических воздействий 7 баллов	2
$\Sigma_{п}$			9

Таблица 5.6 –Оценка влияния конкретных техногенных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Симферопольского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные техногенные условия эксплуатации водоподпорного ГТС	Характеристика параметра	Оценка влияния параметра, балл
1	2	3	4
<b>II Техногенные</b>			
1	<b>Проектно-технологические</b>		
1.1	Зуб, материалом которого служит глина цементационная завеса	да	2
1.2	ошибки проведенных изысканий и принятых проектных решений	нет	0
1.3	соответствие свойств материалов и грунтов	да	0
1.4	установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)	да	1
1.5	установка системы оперативной обработки контрольной и диагностической информации	нет	0
2	<b>Строительно-технологические</b>		
2.1	нагрузки и воздействия строительного периода	расчетные	0
2.2	дефекты производства работ	нет	0
2.3	изменение показателей физико-механических свойств материалов и грунтов, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.4	изменение показателей физико-механических свойств конструкций, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.5	особые техногенные воздействия	нет	0
2.6	работоспособность временных сооружений	да	0
$\Sigma_T$			3

Сумма баллов по фактору «конкретные условия» равна 12 баллам. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.4 равна  $I_7=2$ .

2. Проводится оценка влияния режима работы водохранилища на эксплуатацию водоподпорных ГТС (таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Оценка влияния режима работы водохранилища на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Симферопольского водохранилища

№ п/п	Параметры, влияющие на режим работы водохранилища	Значение параметров работы водохранилища		
		значение параметра	балл	
1	режим регулирования водохранилища	многолетний	2	
2	расположение водохранилища по отношению к источнику	русловое	2	
3	паводочный режим источника	двупаводочный	2	
			Σ	6

Сумма баллов по фактору «режим работы водохранилища» равна 6. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.6 составляет  $I_2=4$ .

3. Фактический срок эксплуатации ГТС Симферопольского водохранилища более 60 лет (дата ввода в эксплуатацию – 1955 год). Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга в соответствии с таблицей 4.7 равна  $I_3=1$

4. Определяется степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений.

В состав гидроузла Симферопольского водохранилища входит водоподпорная грунтовая плотина, водозаборное и водосбросное сооружения, а также глиняный зуб, сопрягающий плотину с основанием. Количество каждого ГТС в составе гидроузла не превышает единицы, поэтому по 1 группе показателей степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС – I.

Максимальная высота плотины Симферопольского водохранилища составляет 40 м. Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 2 группе показателей – III.

Службой эксплуатации ГТС Симферопольского водохранилища проводятся сварочные, промерные работы, работы в подземных сооружениях,

цементационные и бетонные работы, работы по очистке и покраске поверхностей, работы на высоте, изоляционные работы, в соответствии с чем степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 3 группе показателей – III.

Полный объем Симферопольского водохранилища составляет 36 млн. м<sup>3</sup>, поэтому степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 4 группе показателей – III.

Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по фактору не может быть оценена однозначно: I или III степень сложности, поэтому назначается степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС – III Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблица 4.12 составляет  $I_4=3$

5. Определяется обобщающий показатель категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга  $K$  по формуле (4.1):

$$K = 1,1 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 3} = 2,43$$

6. На основании таблица 4.13 назначается периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга для водоподпорных ГТС Симферопольского водохранилища (таблица 5.8).

Таблица 5.8 – Периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорного ГТС Симферопольского водохранилища

Вид наблюдений за состоянием водоподпорных ГТС		Периодичность проведения наблюдений	
		утвержденная	определенная по методике ( $K=2,43$ )
1		2	3
Визуальные наблюдения	Наблюдения за колебаниями уровней воды в верхнем и нижнем бьефах	ежедневно	ежедневно
	Визуальный осмотр сооружений, входящих в состав гидроузла	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за ливнеотводами и дренажными устройствами	1 раз в квартал	2 раза в квартал
	Осмотр подводных частей сооружений водолазами	-	2 раза в год
	Обследование креплений откосов	1 раз в квартал	1 раз в месяц
	Обследование бетона донных галерей, быстротоков, других бетонных и железобетонных сооружений с зарисовкой результатов наблюдений на развертках поверхностей	не реже 1 раз в неделю	2 раза в квартал
	Наблюдения за образованием и таянием льда	-	2 раза в неделю
Инструментальные наблюдения	Нивелирование «точек отсчета» реперов, срезов труб пьезометров, марок	1 раз в год	2 раза в год
	Замеры уровней воды в пьезометрах	1 раз в месяц	2 раза в месяц
	Замеры уровней воды в пьезометрах при резкой смене режима работы (быстрого наполнения и сработки) водохранилища	1 раз в 5 дней	1 раз в 3 суток
	Наблюдения за расходами воды в дренажах	1 раз в квартал	2 раза в квартал
	Наблюдения за расходами воды в дренажах во время паводка или обильных дождей	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за расходами воды в очагах фильтрации	1 раз в квартал	ежедневно
	Отбор проб воды на химический анализ	1 раз в 3 года	2 раза в год
	Наблюдения за переработкой берегов и отложениями наносов	-	после прохождения паводка и при резкой смене режима работы водохранилища
Детальный осмотр сооружений комиссией с составлением актов обследования		1 раз в квартал	2 раз в год после паводка и в конце года



### 5.3 Определение периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений Белогорского водохранилища

Согласно методике определяется периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС Белогорского водохранилища в следующей последовательности.

1. Проводится оценка влияния конкретных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС (таблицы 5.9 и 5.10).

Таблица 5.9 – Оценка влияния конкретных природных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Белогорского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные природные условия эксплуатации водоподпорного ГТС		Оценка влияния параметра, балл
1	2		3
I Природные			
1	Рельеф	предгорный	2
2	Структура и состав пород основания	песчаные, крупнообломочные и глинистые в твердом и полутвердом состоянии	2
3	Гидрогеологические	Сведения о гидрогеологических условиях отсутствуют	
4	Гидрометеорологические	засушливая зона ( $I_c = 2.7$ )	3
5	Сейсмические	интенсивность сейсмических воздействий 7 баллов	2
$\Sigma_{п}$			9

Таблица 5.10 – Оценка влияния конкретных техногенных условий на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Белогорского водохранилища

№ п/п	Наименование параметра, характеризующего конкретные техногенные условия эксплуатации водоподпорного ГТС	Характеристика параметра	Оценка влияния параметра, балл
1	2	3	4
<b>II Техногенные</b>			
1	<b>Проектно-технологические</b>		
1.1	глиняный зуб, стальная шпунтовая стенка, вертикальные песчаные сваи – дрены.	да	3
1.2	ошибки проведенных изысканий и принятых проектных решений	нет	0
1.3	соответствие свойств материалов и грунтов	да	0
1.4	установка контрольно-измерительной аппаратуры (КИА)	да	1
1.5	установка системы оперативной обработки контрольной и диагностической информации	нет	0
2	<b>Строительно-технологические</b>		
2.1	нагрузки и воздействия строительного периода	расчетные	0
2.2	дефекты производства работ	нет	0
2.3	изменение показателей физико-механических свойств материалов и грунтов, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.4	изменение показателей физико-механических свойств конструкций, увязанных с технологией строительства	нет	0
2.5	особые техногенные воздействия	нет	0
2.6	работоспособность временных сооружений	да	0
$\Sigma_T$			4

Сумма баллов по фактору «конкретные условия» равна 13 баллам. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.4 составляет  $I_7=2$ .

2. Проводится оценка влияния режима работы водохранилища на эксплуатацию водоподпорных ГТС (таблица 5.11).

Таблица 5.11 – Оценка влияния режима работы водохранилища на сложность эксплуатации водоподпорных ГТС Белогорского водохранилища

№ п/п	Параметры, влияющие на режим работы водохранилища	Значение параметров работы водохранилища		
		значение параметра	балл	
1	режим регулирования водохранилища	многолетний	2	
2	расположение водохранилища по отношению к источнику	русловое	2	
3	паводочный режим источника	двупаводочный	2	
			Σ	6

Сумма баллов по фактору «режим работы водохранилища» равна 6. Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблице 4.6 составляет  $I_2=4$ .

3. Фактический срок эксплуатации ГТС Белогорского водохранилища более 45 лет (дата ввода в эксплуатацию – 1970 год). Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга в соответствии с таблицей 4.7 равна  $I_3=2$

4. Определяется степень сложности эксплуатации водоподпорных гидротехнических сооружений.

В состав гидроузла Белогорского водохранилища входит водоподпорная грунтовая плотина, оградительная дамба, водозаборное и водосбросное сооружение, а также глиняный зуб, сопрягающий плотину с основанием. Количество каждого ГТС в составе гидроузла не превышает единицы, поэтому по 1 группе показателей степень сложности эксплуатации – I.

Максимальная высота плотины Белогорского водохранилища составляет 26 м. Степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 2 группе показателей – II.

Службой эксплуатации ГТС Белогорского водохранилища проводятся сварочные, промерные работы, цементационные и бетонные работы, работы по очистке и покраске поверхностей, изоляционные работы, в соответствии с чем степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 3 группе показателей – II.

Полный объем Белогорского водохранилища составляет 23,3 млн. м<sup>3</sup>, поэтому степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС по 4 группе показателей – II.

Степень сложности эксплуатации ГТС по фактору не может быть оценена однозначно: I или II степень сложности, поэтому назначается степень сложности эксплуатации водоподпорных ГТС – II.

Категория водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по таблица 4.12 составляет  $I_4=2$

5. Определяется обобщающий показатель категории водоподпорных ГТС по периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга  $K$  по формуле (4.1):

$$K = 1,1 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 4 \cdot 2 \cdot 2} = 2,62$$

6. На основании таблица 4.13 назначается периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга для водоподпорного ГТС Белогорского водохранилища (таблица 5.12)

Таблица 5.12 – Периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорного ГТС Белогорского водохранилища

Вид наблюдений за состоянием водоподпорных ГТС		Периодичность проведения наблюдений	
		утвержденная	определенная по методике ( $K=2,62$ )
1		2	3
Визуальные наблюдения	Наблюдения за колебаниями уровней воды в верхнем и нижнем бьефах	ежедневно	ежедневно
	Визуальный осмотр сооружений, входящих в состав гидроузла	ежедневно	ежедневно
	Наблюдения за ливнеотводами и дренажными устройствами	-	1 раз в месяц
	Осмотр подводных частей сооружений водолазами	1 раз в 3 года	3 раза в год
	Обследование креплений откосов	-	2 раза в месяц
	Обследование бетона донных галерей, быстотоков, других бетонных и железобетонных сооружений с зарисовкой результатов наблюдений на развертках поверхностей	1 раз в неделю	1 раз в месяц
	Наблюдения за образованием и таянием льда	-	1 раз в 2 суток
Инструментальные наблюдения	Нивелирование «точек отсчета» реперов, срезов труб пьезометров, марок	1 раз в год	1 раз в квартал
	Замеры уровней воды в пьезометрах	1 раз в месяц	3 раза в месяц
	Замеры уровней воды в пьезометрах при резкой смене режима работы (быстрого наполнения и сработки) водохранилища	-	1 раз в 2 суток
	Наблюдения за расходами воды в дренажах	1 раз в квартал	1 раз в месяц
	Наблюдения за расходами воды в дренажах во время паводка или обильных дождей	круглосуточно	ежедневно
	Наблюдения за расходами воды в очагах фильтрации	1 раз в квартал	ежедневно
	Отбор проб воды на химический анализ	по особому заданию	1 раз в квартал
	Наблюдения за переработкой берегов и отложениями наносов	1 раз в квартал	2 раза в год
Детальный осмотр сооружений комиссией с составлением актов обследования		2 раза в год	1 раз в квартал

## ВЫВОДЫ

Для достижения целей выпускной квалификационной работы выполнены следующие исследования.

1. Проведенный аналитический обзор научных и нормативных положений, документов по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений в Российской Федерации и в мире позволил подтвердить, что важным условием безопасной эксплуатации таких сооружений является учет их особенностей на стадии проектирования, строительства и дальнейшей эксплуатации. Особое значение имеет подход к осуществлению наблюдений и контроля состояния эксплуатируемых гидротехнических сооружений – организация системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений.

2. В результате анализа действующей системы мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений в Республике Крым выявлена существенная степень обобщения схемы проведения наблюдений без учета конкретного комплекса характеристик ГТС, которые оказывают влияние на систему мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений. Подробное изучение параметров гидротехнических сооружений позволило выявить факторы, оказывающие влияние на проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС, а именно: «конкретные условия», «режим работы водохранилища», «срок эксплуатации» и «степень сложности эксплуатации» водоподпорных ГТС.

3. Учитывая сущность состояния водоподпорных гидротехнических сооружений с позиции обеспечения их безопасной эксплуатации, в работе рассмотрены параметры каждого фактора, влияющего на систему мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (глава 3), и проведено обоснование оценки степени их влияния на периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС.

4. В результате оценки выявленных факторов и параметров, влияющих на эксплуатацию и проведение наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений, разработана методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных гидротехнических сооружений, в основе которой лежит категориальный подход, учитывающий влияние приведенных к единому масштабу параметров факторов для корректировки периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга по сравнению с действующей системой наблюдений.

5. Разработанная методика позволила выявить особенности периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга для водоподпорных гидротехнических сооружений Республики Крым, а именно ГТС Бахчисарайского, Симферопольского и Белогорского водохранилищ.

Результаты выпускной квалификационной работы свидетельствуют о том, что разработанная методика определения периодичности проведения наблюдений в системе мониторинга состояния водоподпорных ГТС, в зависимости от рассмотренных факторов и их параметров, позволяет подтвердить необходимость увеличения количества наблюдений за состоянием перечисленных водоподпорных ГТС для получения более точных сведений о надежности и безопасности дальнейшей эксплуатации указанных водоподпорных ГТС.

Определенная по разработанной методике периодичность проведения наблюдений в системе мониторинга состояния существующих водоподпорных ГТС Республики Крым отличается от утвержденной периодичности системы наблюдений частотой проведения отдельных видов наблюдений и не противоречит нормативной и законодательной документации.

В целом, применение методики определения периодичности проведения мониторинга состояния водоподпорных ГТС на основе выявленных факторов и их параметров возможно для гидротехнических сооружений Российской Федерации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бальзанников М.И., Иванов Б.Г., Михасек А.А. Система управления состоянием гидротехнических сооружений // Вестник МГСУ . 2012. № 7. С. 119—124. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-upravleniya-sostoyaniem-gidrotehnicheskikh-sooruzheniy-1> свободный.
2. Водохранилища Крыма [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Водоохранилища\\_Крыма](https://ru.wikipedia.org/wiki/Водоохранилища_Крыма) свободный.
3. Волков, И. М. Гидротехнические сооружения / И. М. Волков, П.Ф. Кононенко, И. К. Федичкин. – М.: Колос, 1968. – 464 с. (Учебники и учебн. пособия для высших с.-х. учебн. заведений)
4. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Ч.1: Учебник для студентов вузов/ М. М.Гришин, С. М. Слисский, А. И. Антипов и др.; Под ред. Гришина М. М. – М.: Высш. Школа, 1979. – 615 с., ил.
5. Гидротехнические сооружения (в двух частях). Ч.2: Учебник для студентов вузов/ М. М. Гришин, С. М. Слисский, А. И. Антипов и др.; Под ред. Гришина М. М. – М.: Высш. школа, 1979. – 336 с., ил.
6. Гидротехнические сооружения / И. А. Васильев, Г. И. Журавлев, С. Н. Корюкин и др.; под ред. Н. П. Розанова. – М. : Стройиздат, 1978. – 647 с.
7. Гидротехнические сооружения / Н. П. Розанов, Я. В. Бочкарев, В. С. Лапшенков и др.; Под ред. Н. П. Розанова. – М.:Агропромиздат, 1985. – 432 с., ил. – (Учебники и учебн. пособия для высших с.-х. учебн. заведений)
8. Гидротехнические сооружения: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. Ю. М. Гончаров. – Электрон. дан. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.
9. Гольдин, А. Л. Проектирование грунтовых плотин. Учеб. пособие / А. Л. Гольдин, Л. Н. Рассказов – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 384 с. с ил.



10. ГОСТ Р 22.1.01-97 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Основные положения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200001515> свободный.

11. ГОСТ Р 22.1.11-2002 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг состояния водоподпорных гидротехнических сооружений (плотин) и прогнозирование возможных последствий гидродинамических аварий на них. Общие требования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200030865> свободный.

12. Замарин, Е. А. Проектирование гидротехнических сооружений / Е. А. Замарин. – М. : Сельхозгиз, 1961. – 228 с., ил. – (учебники и учебн. пособия для высших с.-х. учебных заведений)

13. Инструкции о порядке ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора России (РД 03-259-98) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.internet-law.ru/stroyka/text/7762/> свободный.

14. Кавешников, Н.Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений. Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений. – М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.: ил.

15. Кириенко, И. М. Гидротехнические сооружения. Проектирование и расчет: Учеб. пособие / И. М. Кириенко, Ю. А. Химерик. – К.: ВШ, Головное изд-во, 1987. – 253 с.

16. Ляпичев, Ю.П. Гидротехнические сооружения: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 302 с

17. Мелиорация земель/А. И. Голованов, И. П. Айдаров, М. С. Григоров и др.; Под ред. А. И. Голованова. — М.: КолосС, 2011. — 824 с.: ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

18. Методические рекомендации по составлению проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений на поднадзорных Госгортехнадзору России производствах, объектах и в организациях

(РД 03-417-01) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://internet-law.ru/stroyka/text/9786/> свободный.

19. Методические указания по осуществлению собственниками гидротехнических сооружений и эксплуатирующими организациями мониторинга показателей состояния гидротехнических сооружений, надзор за которыми осуществляет Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомного надзору [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gosnadzor.ru/public/discussion/acts/hydro-method/237.doc](http://www.gosnadzor.ru/public/discussion/acts/hydro-method/237.doc) свободный.

20. Методическое пособие «Разработка и создание комплекса мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений»/ Сост. Талипов Ш, Юрченко А., Оспанов М., Джолдошалиев И., Набиев А., Баллыев К. – Симферополь: НАПКС, 2014.-80 с и приложения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eecca-water.net/content/view/5563/12/lang,russian/> свободный.

21. Моисеев, С. Н. Каменно-земляные плотины, основы проектирования и строительства. Издание 3-е, перераб. и доп. / С. Н. Моисеев, И.С. Моисеев – М.: Энергия, 1977. -280 с.

22. О безопасности гидротехнических сооружений. Федеральный закон Российской Федерации от 21 июля 1997 года №117-ФЗ (с изменениями на 03.07.2016 г.; редакция, действующая с 1 января 2017 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9046062> свободный.

23. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.11.2013 г. № 986 «О классификации гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499054996> свободный.

24. Розанов, Н. Н. Плотины из грунтовых материалов / Н. Н. Розанов. – М.: Стройиздат, 1983. – 296 с., ил.

25. СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах. Актуализированный СНиП II-7-81\* «Строительство в сейсмических районах».

[Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200111003> свободный.

26. СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200094156> свободный.

27. Стандарт организации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» (ФГБНУ «РосНИИПМ») СТО 4.2-5-2015 «Мелиоративные системы и сооружения. Эксплуатация. Оценка технического состояния гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://studydoc.ru/doc/2537030/sto-4.2-5-2015.-meliorativnye-sistemy-i> свободный.

28. Стандарт предприятия. Методика оценки уровня безопасности гидротехнических сооружений./ Научный руководитель разработки - д.т.н. Иващенко И.Н. – ОАО «НИИЭС». М.: 2004. 32 с.

29. Чугаев, Р. Р. Земляные гидротехнические сооружения – теоретические основы расчета/ Чугаев Р. Р. Ленинград: Энергия, 1967. – 460 с.

30. Чугаев, Р.Р. Гидротехнические сооружения. Учеб. пособие для студ. гидротехн. спец. вузов. В 2-ух ч. – 2-е изд., перераб. и доп. Ч. I. Глухие плотины. – М.: Агропромиздат, 1985. – 318 с., ил.

31. Чугаев, Р.Р. Гидротехнические сооружения. Учеб. пособие для студ. гидротехн. спец. вузов. В 2-ух ч. – 2-е изд., перераб. и доп. Ч. II. Водосливные плотины. – М.: Агропромиздат, 1985. – 302 с., ил.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Приложение А

Таблица А.1 – Состав, наименование и способы измерения показателей состояния ГТС, контролируемых в процессе мониторинга (инструментальные и визуальные наблюдения) [11]

Тип ГТС	Основные контролируемые показатели состояния ГТС	Способ измерения контролируемого показателя	Технические средства измерения контролируемого показателя	Ориентировочная периодичность измерения	Результат мониторинга	
					Значение измеренного показателя К	Критериальное значение показателя К1, К2
1	2	3	4	5	6	7
1. Бетонные ГТС (гравитационные, контрфорсные, арочные плотины)	Вертикальные перемещения (осадки) сооружения и его основания, мм	Нивелирование поверхностных марок	Поверхностные марки, рабочие и фундаментальные реперы	2 раза в год	мм	мм
	Горизонтальные перемещения сооружения и его основания, мм	Триангуляция, визирование по створам, светодальномерные наблюдения	Рабочие реперы, визирные марки, марки для светодальномерных наблюдений	То же	мм	мм
	Напряжения в сооружении и его основании, кг/см <sup>2</sup> , МПа	Дистанционные измерения деформаций, напряжений в сооружении и его основании	Измерительные преобразователи линейных деформаций, силы струнного типа	1 раз в месяц	кг/см <sup>2</sup> , МПа	кг/см <sup>2</sup> , МПа

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1. Бетонные ГТС (гравитационные, контрфорсные, арочные плотины)	Контактные напряжения в подошвах бетонного сооружения, кг/см <sup>2</sup> , МПа	Дистанционные измерения силы на контролируемую площадь	Измерительные преобразователи силы струнного типа	То же	кг/см <sup>2</sup> , МПа	кг/см <sup>2</sup> , МПа
	Раскрытие межсекционных швов сооружения, мм	Дистанционные измерения раскрытия шва	Измерительные преобразователи линейных перемещений струнного типа	3 раза в месяц	мм	мм
	Взаимные смещения секций по межсекционным швам сооружения, мм	Прямые измерения взаимного смещения секций плотины	Модернизированный щелемер, штангенщелемер	То же	мм	мм
	Величина простираения трещины по контакту сооружения со скалой, мм	Дистанционные измерения раскрытия шва по контакту сооружения со скалой	Измерительные преобразователи линейных перемещений струнного типа	»	мм	мм
	Раскрытие трещин и межблочных швов в сооружении, мм	Дистанционные измерения раскрытия трещин, межблочных швов	Измерительные преобразователи линейных деформаций, перемещений струнного типа	»	мм	мм
	Температура бетона сооружения и его основания, °С	Дистанционные измерения температуры бетона	Измерительные преобразователи температуры струнного типа	»	°С	°С

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1. Бетонные ГТС (гравитационные, контрфорсные, арочные плотины)	Фильтрационные расходы, поступающие в дренажные устройства или выходящие на поверхность, л/с	Дистанционные измерения расхода или прямые Измерения отметки уровня воды на мерном водосливе	Измерительные преобразователи уровня жидкости, мерная рейка	»	л/с	л/с
	Пьезометрические напоры в основании сооружения и береговых примыканиях, м	Прямые или дистанционные измерения пьезометрических уровней в основании сооружения	Измерительные преобразователи давления струнного типа, образцовые манометры	»	м	м
	Пьезометрические градиенты в основании сооружения, безразмерно	Вычисляются по измеренным напорам в основании сооружения	-	3 раза в месяц	Безразмерная величина	Безразмерная величина
	Параметры сейсмических колебаний сооружения и его основания (частота, Гц; период собственных колебаний, с)	Измерения в ждущем автоматическом режиме ускорений, амплитуды колебаний	Сейсмометрическая аппаратура	Постоянно	Гц, с	Гц, с
	Характеристики размыва русла в нижнем бьефе (глубина, м; площадь воронки размыва, м <sup>2</sup> )	Прямые измерения воронки размыва с помощью эхолота или водолазов	Эхолоты, мерные ленты	1 раз в год	м, м <sup>2</sup>	м, м <sup>2</sup>

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
1. Бетонные ГТС (гравитационные, контрфорсные, арочные плотины)	Разрушение бетона в зоне переменного уровня, мм	Прямые измерения глубины разрушения бетона	Деформометр на базе индикатора часового типа	2 раза в год	мм	мм
	Разрушение бетона вследствие реакционных свойств крупного заполнителя бетона, мм	Прямые измерения глубины разрушения бетона	То же	То же	мм	мм
2. Сооружения из грунтовых материалов (плотины, дамбы и т.п.)	Вертикальные перемещения (осадки) гребня сооружения и его основания, мм	Нивелирование поверхностных марок, глубинных марок	Поверхностные, глубинные марки, рабочие и фундаментальные реперы	2 раза в год	мм	мм
	Горизонтальные смещения гребня сооружения, мм	Триангуляция, визирование по створам, светодальномерные наблюдения	Рабочие и фундаментальные реперы, визирные марки, марки для светодальномерных измерений	3 раза в год	мм	мм
	Поровое давление в водоупорных элементах сооружения и его основания, МПа	Дистанционные измерения порового давления в водоупорных элементах сооружения	Измерительные преобразователи давления струнного типа	3 раза в месяц	МПа	МПа

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
2. Сооружения из грунтовых материалов (плотины, дамбы и т.п.)	Фильтрационные расходы, оступающие в дренажные устройства или выходящие на поверхность, л/с	Дистанционные измерения расходов или прямые измерения отметок уровня воды на мерном водосливе	Измерительные преобразователи уровня жидкости, ультразвуковые расходомеры, мерные рейки	То же	л/с	л/с
	Отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле сооружения, береговых примыканиях, м	Дистанционные измерения пьезометрических уровней или прямые измерения отметок пьезометрических уровней	Измерительные преобразователи давления струнного типа, напорные и безнапорные пьезометры, образцовые манометры, хлопушки, уровнемеры	»	м	м
	Градиенты напора в водоупорных элементах сооружения основания, безразмерно	Вычисляются по измеренным пьезометрическим напорам в сооружении и его основании	-	3 раза в месяц	Безразмерно	Безразмерно
	Температура сооружения и его основания, °С	Дистанционные измерения температуры сооружения и его основания	Измерительные преобразователи температуры струнного типа	То же	°С	°С
	Параметры сейсмических колебаний сооружения и его основания (частота, Гц, период собственных колебаний, с)	Измерения в ждущем автоматическом режиме ускорений, амплитуды колебаний	Сейсмометрическая аппаратура	Постоянно	Гц, с	Гц, с



Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
2. Сооружения из грунтовых материалов (плотины, дамбы и т.п.)	Наличие грифонов в нижнем бьефе за сооружением, л/с	Измерения фильтрационного расхода	Мерный водослив с рейкой для измерения уровня воды над водосливом	3 раза в месяц	л/с	л/с
	Наличие зон на низовом откосе с ярко-зеленым травяным покровом, м <sup>2</sup>	Измерения площади зон	Рулетка	То же	м <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>
	Появление просадочных воронок на гребне и откосах плотины, см, м <sup>2</sup>	Измерение диаметра, площади и глубины воронки	»	»	см, м <sup>2</sup>	см, м <sup>2</sup>
	Появление продольных и поперечных трещин на гребне плотины, м, мм	Измерение протяженности и раскрытия трещин	»	»	м, мм	м, мм
3. Грунтовые массивы в примыканиях, в верхнем и нижнем бьефах	Вертикальные смещения в оползневых и потенциально неустойчивых массивах, мм	Нивелирование поверхностных и глубинных марок	Поверхностные и глубинные марки	4 раза в год	мм	мм
	Горизонтальные смещения оползневых и потенциально неустойчивых массивов, мм	Триангуляция, светодальномерные наблюдения	Реперы, марки	То же	мм	мм
	Уровень грунтовых вод в оползневых и потенциально неустойчивых массивах, м	Измерения пьезометрических уровней	Пьезометры, уровнемеры, хлопущки	1 раз в месяц	м	м

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7
3. Грунтовые массивы в примыканиях, в верхнем и нижнем бьефах	Появление оползневых и просадочных трещин, м, см	Зарисовка, измерение протяженности, ширины, глубины	Рулетка	3 раза в месяц	м, см	м, см
	Наличие зон избыточного увлажнения, м <sup>2</sup>	Измерение площади водопроявлений	Рулетка	То же	м <sup>2</sup>	м <sup>2</sup>
	Наличие сосредоточенных выходов подземных вод в нижнем бьефе, л/с	Измерение фильтрационного расхода	Мерный водослив	Раз в сутки	л/с	л/с
	Наличие суффозионного выноса грунта, г/л	Измерение количества взвеси	Мерный сосуд	3 раза в месяц	г/л	г/л
	Наличие просадочных и суффозионных воронок, м	Зарисовка, измерение количества и размеров воронок	Рулетка	То же	м	м
	Наличие криогенных деформаций, м	Характер деформации, размеры, площадь распространения	*	Раз в год	м	м

\* Исходя из опыта для каждого сооружения периодичность измерений назначается в зависимости от класса ГТС, их состояния, периода эксплуатации и других факторов.

\*\* Оперативную оценку состояния ГТС проводят на основе сопоставления измеренных значений диагностических показателей К с их критериальными значениями К1 и К2. При  $K \leq K1$  состояние ГТС считают нормальным, при  $K1 < K \leq K2$  - потенциально опасным, при  $K > K2$  - предаварийным.