

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет  
имени И. Т. Трубилина»

В. В. Ванжа

# ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОНИТОРИНГ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

Учебное пособие

Краснодар  
КубГАУ  
2018

**УДК 626.8(075.8)**

**ББК 40.6**

**В17**

**Р е ц е н з е н т ы :**

**С. Н. Якуба** – заместитель директора ФГОУ «Управление Кубаньмелиоводхоз», канд. техн. наук;

**Е. В. Кузнецов** – зав. кафедрой гидравлики и с.-х. водоснабжения Кубанского государственного аграрного университета, д-р техн. наук

**Ванжа В. В.**

**В17** Эксплуатация и мониторинг систем и сооружений : учеб. пособие / В. В. Ванжа. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 167 с

**ISBN 978-5-00097-769-9**

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы эксплуатации систем и сооружений, условия их работы; факторы, обуславливающие надежность и долговечность сооружений; приведен анализ работы природоохранных сооружений в условиях эксплуатации.

Предназначено для обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование, направленность «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения».

**УДК 626.8(075.8)**

**ББК 40.6**

**ISBN 978-5-00097-769-9**

© Ванжа В. В., 2018  
© ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач природообустройства и водопользования в настоящее время является надежная и рациональная эксплуатация ранее построенных, действующих водохозяйственных объектов.

Состояние водохозяйственных объектов, инженерных сооружений находится в прямой зависимости от результатов обобщения мониторинга за их эксплуатацией и техническим состоянием.

В процессе подготовки будущие инженеры по природообустройству и водопользованию должны приобрести навыки по технической эксплуатации природоохранных сооружений, проведению наблюдений за их состоянием в условиях эксплуатации, а также уметь применять эксплуатационные мероприятия, направленные на улучшение функционирования водохозяйственных сооружений.

В данном учебном пособии изложены вопросы по основным положениям организации и структуры службы эксплуатации, условиям работы и мониторинга водоохраных сооружений, а также факторам, определяющим надежность, прочность, долговечность и устойчивость сооружений, видам наблюдений за их состоянием и выполнения эксплуатационного режима. Вопросы эксплуатации грунтовых, водоподпорных, бетонных, водопропускных сооружений, а также анализа работы сооружений в условиях эксплуатации, структуре и организации ремонтно-восстановительных работ.

При подготовке учебного пособия был использован опыт организации эксплуатации гидротехнических сооружений, а также действующие инструкции, рекомендации, положения, правила и указания по вопросам эксплуатации водохозяйственных объектов. Для более углубленного и детального изучения некоторых вопросов студент может в качестве самостоятельной работы, пользуясь приведенной литературой, получить полное представление об интересующем вопросе.

# ТЕМА 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ

## 1.1 Современное состояние водных объектов и эксплуатационные мероприятия, направленные на их улучшение

В настоящее время *состояние* многих *водохозяйственных объектов* не отвечает экологическим требованиям, значительная их часть находится в неудовлетворительном состоянии и требует коренной реконструкции.

В Ростовской области имеется около 780 крупных ГС, которые по техническому уровню находятся в катастрофическом состоянии. Те техногенные изменения, которые произошли на таких объектах, трансформируют природные процессы, нарушают мелиоративное состояние прилегающих земель, вызывая их подтопление, переувлажнение и заболачивание. Глубина изменения экологической ситуации в этих случаях во многом зависит от конструктивных особенностей, технического состояния инженерных сооружений и техногенных нагрузок.

Надлежащее функционирование водохозяйственного объекта обуславливается принципами его проектирования, качеством строительства, результатами обобщения наблюдений за техническим, состоянием ГС, а также уровнем его эксплуатации.

При *проектировании* часто используют аналоговые подходы, что позволяет снижать стоимость и сокращать сроки строительства объекта, игнорируя, тем самым, индивидуальные условия будущего его расположения и функционирования. Недоучет конкретных условий в практике проектирования впоследствии может приводить к нежелательным изменениям в природной среде, а иногда и полному отказу системы. Известны случаи, когда недостаточная изученность условия расположения объекта проектирования приводила к выходу его из строя по прошествии ряда лет.

*Эксплуатация водохозяйственного комплекса*, природоохранных сооружений направлена на выполнение следующих мероприятий:

- организационно-водохозяйственных;
- инженерно-технических;
- финансово-экономических.

К организационно-хозяйственным мероприятиям относятся: организация управления водохозяйственным комплексом в целом и в разрезе отдельных природоохранных сооружений; организация ремонтно-эксплуатационных работ и функционирование ремонтно-строительной базы; соблюдение техники безопасности при производстве эксплуатационных работ; определение задач, структуры, штатного состава и функций службы эксплуатации; создание материально-технической базы; оснащение службы эксплуатации машинами, механизмами, строительными материалами.

Инженерно-технические мероприятия включают: работу диспетчерской службы, направленную на удовлетворение потребностей водопотребителей и водопользователей (орошение, водоснабжение, рыборазведение, водный транспорт, рыбное хозяйство, санитарное благоустройство, рекреация); работы по технической эксплуатации ГС и ГМС, предусматривающие наблюдения и уход за ними с целью соблюдения технических условий нормальной работы сооружений с учетом охраны окружающей среды; ремонтные работы; реконструкцию водохозяйственного комплекса, отдельных сооружений или их элементов.

Финансово-экономическими мероприятиями службы эксплуатации являются: финансирование организационно-хозяйственных и инженерно-технических работ в условиях хозрасчета, самофинансирования и самокупаемости, финансовая и бухгалтерская отчетность перед вышестоящими организациями, определение затрат на эксплуатацию и технико-экономические показатели.

Основные направления улучшения эксплуатации водохозяйственных комплексов, в том числе и ПС направлены на: разработку рациональной структуры управления и организации

службы эксплуатации; совершенствование и разработку автоматизированных систем технического управления I пиротехническими сооружениями; разработку совершенной контрольно-измерительной аппаратуры (КИА); разработку совершенных типовых положений, инструкций и правил эксплуатации водохозяйственных объектов и отдельных гидротехнических сооружений [33].

## **1.2 Организация, структура и задачи службы эксплуатации, контроль, надзор за эксплуатацией сооружений**

В составе проектов на строительство водохозяйственного объекта разрабатывают раздел организации службы эксплуатации, в котором определяется структура этой службы, ее обязанности, объемы, технология ремонтно-эксплуатационных работ и т. д. Для таких объектов специально разрабатывают правила технической эксплуатации.

На стадии строительства и приемки сооружений эксплуатационная служба (дирекция, управление строящегося гидроузла или сооружения) осуществляет контроль за качеством устанавливаемого оборудования, соответствием выполнения строительного-монтажных работ, приемку сооружений, оборудования и КИА, а также может проводить совместно со специальной группой строителей наблюдения за состоянием сооружений.

*Структура службы эксплуатации* водохозяйственных объектов может быть различной в связи со спецификой задач, решаемых в конкретном случае.

В целом выделяют структурные группы служб эксплуатации, функционирующие в составе управлений гидромелиоративных систем, на отдельных гидроузлах как целевого, так и комплексного назначения, на крупных магистральных каналах.

*Управления эксплуатации* подчиняются областным, краевым и республиканским Управлениям по мелиорации земель и сельскохозяйственному водоснабжению.

Вопросами технической эксплуатации ГТС занимаются линейные службы эксплуатационных участков.

В случае, когда в комплекс ГС входят гидроузел, водохранилище, магистральный канал, часть реки, охваченной системой защитных дамб и сооружений в составе этого комплекса могут быть организованы несколько управлений эксплуатации сооружений, в зависимости от их назначения.

На отдельных гидроузлах могут быть созданы управления эксплуатации гидроузла. В таких управлениях имеются участки инженерной защиты, эксплуатации сооружений гидроузла, гидрохимического оборудования, ремонтно-строительные и др. Один из примеров *структуры управления гидроузла* изображен на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Структура управления эксплуатации гидроузла

*Технической эксплуатацией ГТС* занимается гидротехнический цех, в состав которого входят: ремонтно-эксплуатационный участок с эксплуатационными и ремонтно-строительными бригадами; группа наблюдений; вспомогательные участки и подразделения (мастерские, склады и др.).

*Основными задачами службы эксплуатации* являются: обеспечение эксплуатационного режима НС, его исправного состояния, безаварийной работы сооружений и оборудования, оперативное управление техническими устройствами гидроузла; систематическое выполнение визуальных наблюдений за состоянием сооружений и уход за ними; проведение измерений с помощью КИА в соответствии с правилами технической эксплуатации, нормативами, инструкциями, положениями; обработка и анализ полученных данных наблюдений и измерений, своевременное выявление дефектов, повреждений или аварийного состояния сооружений и оборудования, разработка и осуществление мероприятий по приведению в надлежащее техническое состояние сооружений и оборудования, усовершенствование и реконструкция и выполнение ремонтно-восстановительных работ; ведение технической документации по эксплуатации, составление годовых отчетов, внедрения передового опыта, достижений науки и техники; обеспечение охраны природной среды, ответственных сооружений.

*Работа службы эксплуатации* регламентируется соответствующими правилами, инструкциями, положениями, нормативными документами. Должностные инструкции определяют права, обязанности, ответственность лиц, которые занимаются эксплуатацией гидротехнических сооружений. Имеющиеся типовые положения упорядочивают взаимоотношения между всеми управлениями и группами службы эксплуатации.

Контроль и организацию надзора за состоянием сооружений осуществляет служба эксплуатации гидроузла. Его выполняют путем систематического осмотра, обработки результатов измерений КИА, создания специальных комиссий



для обследования и определения объема необходимых ремонтных работ, реконструкции сооружений и их элементов [33].

Служба эксплуатации ведет текущую техническую документацию, которая определяется для каждого водохозяйственного объекта. Так для водохозяйственных систем ведут: журналы наблюдений за уровнями воды в водохранилище, дежурств, распоряжений, инструктажа по технике безопасности, наблюдений за уровнями в пьезометрах, маневрировании затворами, расхода воды и ее уровней в бьефах, наблюдений за осадками, деформациями сооружений, наблюдений за чашей водохранилища, переработки берегов, визуальных наблюдений и надзора, учета ремонтных работ, реконструкций, учета фильтрационных расходов через сооружения, химических анализов проб воды, характера местных размывов, заиления водохранилища.

Служба эксплуатации ежегодно составляет календарные планы, где определяются виды и периодичность наблюдений за состоянием сооружений гидроузла. Периодичность наблюдений за состоянием сооружений осуществляется по позициям, определяющим прочность и устойчивость сооружений согласно перечня, приведенного в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Периодичность наблюдений за состоянием сооружений

Наблюдение	Периодичность
1	2
Визуальный осмотр сооружений	Ежедневно
За уровнями воды в бьефах	Ежедневно
Нивелирование реперов, марок и срезов труб пьезометров	1 раз в месяц. 1 раз в год
Определение уровней воды в пьезометрах	1 раз в 10 сут. 1 раз в месяц
То же в период быстрого наполнения или сработки водохранилища	1 раз в 5 сут
За расходами поды в дренажах и очагах фильтрации	1 раз в 15 сут. 1 раз в квартал
То же во время паводка или обильных дождей	Ежедневно

Продолжение таблицы 1.1

1	2
Осмотр бетонных донных галерей, быстротоков и других сооружений с зарисовкой ситуаций	Ежемесячно. 1 раз в квартал
Осмотр подводных частей сооружений водозадами	1 раз в квартал. 1 раз в год
За ливнеотводными и дренажными устройствами	1 раз в квартал и после каждого ливня
За переработкой берегов и отложениями наносов	После паводков и в случае интенсивной сработки водохранилища
За образованием и таянием льда	Не реже 1 раза в 5 сут
Отбор проб на хим. анализ	1 раз в 3, 12 мес
Детальный осмотр сооружений гидроузла комиссией с составлением актов обследований	2 раза в год (после половодья и осенью)

По результатам наблюдений составляют графики изменения уровней воды в бьефах; графики осадок высотных марок за время строительства и работы сооружения; эпюры депрессионных кривых и противодавлений; продольные и поперечные профили местных размывов, графики расходов воды во времени; эпюры скоростей воды в характерных створах и вертикалях и др.

Заключаящим этапом наблюдений, обследований, надзора и эксплуатационных мероприятий за сооружениями, их отдельных элементов является составление отчета. В нем приводят анализ данных работы сооружения, отклонения отдельных параметров от проектных. В отчете приводят рекомендации о необходимости проведения ремонтно-восстановительных работ, реконструкции сооружений, их элементов.

*Служба эксплуатации* на основании анализа наблюдений, обследований и выводов о работе сооружений ежегодно разрабатывает планы мероприятий по улучшению их функционирования, проведению ремонтно-восстановительных работ, реконструкции. Их утверждают производственное управление мелиорации и водного хозяйства.

*Вышестоящие организации* контролируют выполнение службами эксплуатации обязанностей по обеспечению:

- надежной работы сооружений;
- планирование и осуществление технической эксплуатации мелиоративных систем;
- попусков воды из водохранилищ;
- финансирование и материально-техническое снабжение ремонтных работ;
- создание специальных групп (при необходимости) наблюдений за состоянием гидрозлов, водохранилищ;
- определение подрядных организаций для осуществления ремонтных работ;

При выполнении работ по заказу управления эксплуатации в обязанности проектировщика входит:

- разработка проекта и мероприятий по устранению аварийных ситуаций по ремонту и реконструкции сооружений;
- разработка проекта установки дополнительной КИА и программы наблюдений;
- составление технического паспорта на разрешаемую КИА, отремонтированные и реконструированные сооружения.

При необходимости, привлекаемые научно-исследовательские организации для контроля и надзора за сооружениями выполняют:

- оказание методической и технической помощи службами эксплуатации в организации и проведении натуральных наблюдений и обследований состояния сооружений, их элементов;
- составление рекомендаций по проведению контроля, надзора, обследованию сооружений и анализу результатов наблюдений проектным данным;
- разработка типовых инструкций и правил по эксплуатации ПС.

### 1.3 Условия работы ПС

*При эксплуатации ГТС* на них воздействуют: воздушная атмосфера, водная среда, волны, шуга и лед, температурные условия, атмосферные осадки, ветры и бури, солнечная радиация, сейсмические силы, взаимодействие сооружения с основанием.

*Воздушная атмосфера* содержит химические соединения, газы, пыль, которые могут разрушить ГТС. Химические соединения в сочетании с влагой вызывают коррозию, трещины, загрязняют и разрушают бетонные конструкции, механическое оборудование.

*Водная среда* оказывает на ГТС механическое, физико-химическое и биологическое воздействие.

*Механическое воздействие* может быть статическим, динамическим и абразивным. Статическое – это давление воды, льда, грунта, наносов, отложившихся перед сооружением. Динамическое возникает при ударе движущегося водного потока льдин, плавающих тел, при недопустимых волновых явлениях, гидравлическом ударе, сейсмических силах.

*Физико-химическое воздействие* воды на сооружения проявляется в коррозии металла и бетона, разрушении бетона при замерзании и оттаивании и под воздействием агрессивных вод, суффозии грунта или бетона в результате фильтрации потока.

При обтекании поверхностей элементов сооружений высокоскоростным потоком на них возникают локальные зоны с пониженным давлением на которых происходит кавитационная эрозия, образующая каверны.

*Биологическое воздействие* воды заключается в жизнедеятельности организмов, обитающих в водной среде и на элементах сооружений. Их воздействие проявляется в виде гниения различных элементов, зарастания трубопроводов, обрастания отдельных частей сооружений моллюском.

*Волны* оказывают динамическое давление на элементы гидротехнических сооружений. Сочетание нагона и наката

волны может привести к переливу воды через гребень грунтовой плотины и ее разрушению [33].

*Шуга, лед* образуются в период от начала возникновения отрицательных температур до момента очищения реки от льда. Шуга может забивать сечение русла реки, образуя зажор, что способствует образованию подпора выше по течению. Лед может вызывать затор, удары льдин могут повредить механическое оборудование, их уплотнения, быки, устои, гасители энергии. Наличие льда и шуги затрудняет пропуск паводковых расходов, работу рыбопропускных и рыбозащитных сооружений.

*Высокая температура* вызывает температурные деформации бетона и металлических частей оборудования, при этом могут возникать микротрещины, вытекать смазка, выступать битумная композиция из уплотнений плит крепления откосов.

*Низкая температура* может привести к частичному или полному промерзанию дренажных устройств, появлению трещин на откосах, снижает прочностные и пластичные качества элементов из искусственных материалов.

*Атмосферные осадки* в виде продолжительных ливней могут переполнять водохранилище, что сопровождается переливом воды через гребень плотины, разрушить недостаточной закрепленный низовой откос плотины. Дождь со снегом приводит к значительному обмерзанию сооружений, образует гололед, что затрудняет эксплуатацию ГТС.

*Ветры и бури* могут выводить из строя подъемные механизмы.

Различные воздействия на ГТС требуют от эксплуатационного персонала систематического ухода и наблюдений за сооружениями, проведения эксплуатационных мероприятий, позволяющих обеспечить надежную работу сооружений.

Солнечная радиация усиливает интенсивность таяния снега, что способствует степени нарастания паводка. Также негативно влияет на резиновые материалы и полимеры пленки, применяемые в строительстве.

Сейсмическое воздействие может причинить существенный ущерб вплоть до полного разрушения ГТС.

При взаимодействии сооружения с основанием меняется их напряженное состояние в зависимости от степени наполнения водохранилища, геологического строения основания, берегов. Могут возникать неравномерные осадки отдельных элементов сооружений на слабых основаниях.

#### **1.4 Факторы, определяющие надежность, прочность, долговечность и устойчивость сооружений. Структура и организация ремонтно-восстановительных работ**

Под *надежностью ПС* понимают их способность выполнять в течение срока службы свои функции без отказов в нормальных эксплуатационных условиях.

*Эксплуатационная надежность* подразделяется на следующие основные показатели:

- конструктивной надежности (прочность, устойчивость, водонепроницаемость, морозостойкость);
- технологической надежности (напор, расход, полезный объем, обеспечение водозабора, водоподачи, пропуск рыбы);
- архитектурного соответствия (относительно ландшафта, внешний вид и т. д.).

Надежность ПС определяется данными показателями, которые закладываются в проект, а также качеством работ при возведении сооружений.

В процессе эксплуатации сооружений надежность их или отдельных цементов снижается в результате возникновения отказов. В дальнейшем наступает период нормальной работы сооружений, который для крупных сооружений может составлять 30–70 лет, в дальнейшем надежность сооружений снижается и число отказов возрастает.

*Надежность* сооружений определяется безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью.

*Безотказность* характеризуется вероятностью сооружения сохранять свою работоспособность в течение заданного времени при некоторых условиях эксплуатации.

*Долговечность* – свойство сооружения сохранять свои эксплуатационные показатели в заданных пределах до момента выхода его из строя.

*Ремонтопригодность* – совокупность времени и стоимости, необходимых для устранения повреждений или отказов. Устанавливается технико-экономическим обоснованием.

*Старение, износ* – потеря сооружением или их элементами требуемых эксплуатационных качеств. Его подразделяют на физическое и моральное старение.

*Физическое старение* – сооружение теряет свои первоначальные физико-технические свойства (прочность, устойчивость, обеспечение гашения избыточной энергии потока, водонепроницаемость и др.).

*Моральное старение* – наблюдается технологическое несоответствие современным требованиям и современному уровню научно-технического прогресса.

Основными факторами, влияющими на долговечность, продолжительность межремонтного периода, являются:

- уровень надежности технических решений на стадии проектирования;
- качество выполнения строительных работ;
- уровень эксплуатации.

Для повышения надежности сооружения, продолжительности межремонтного периода на стадии проектирования и строительства следует выполнять расчетные схемы; учитывать ландшафтные особенности месторасположения объекта (геологические, гидрологические, инженерно-геологические, климатические), технические и технологические характеристики; проектировщикам выполнять контроль производства строительных работ.

На стадии строительства нельзя отступать от проекта, допускать низкое качество строительно-монтажных работ, нарушать технологический процесс.

Эксплуатационный персонал должен принимать в эксплуатацию сооружения без недоделок, дефектов, отклонений от проекта, обеспечивать уход за сооружениями, анализировать результаты наблюдений, проводить ремонтно-восстановительные работы.

Для поддержания ПС в рабочем состоянии служба эксплуатации проводит систему плано-распределительных ремонтов, которые включают проведение следующих их видов: предупредительный, текущий и капитальный, которые осуществляются в плановом порядке. Существует также вид аварийного ремонта, т. е. непредвиденный.

*Текущий ремонт и уход* за сооружениями проводят ежегодно, при этом исправляют отдельные повреждения сооружений без замены элементов конструкций. Перечень работ зависит от типа сооружений, материала, использованного при их выполнении, условий эксплуатации, режима работы.

Объемы ремонтных работ и сроки их проведения определяют на основании дефектных актов, которые составляют комиссии, осматривающие сооружения.

*Капитальный ремонт* осуществляют в соответствии с утвержденным положением о проведении плано-предупредительного ремонта сооружений.

В этом случае исправляют крупные повреждения и разрушения гидроузлов, заменяют конструкции гидромеханического и другого оборудования вследствие их износа.

План капитального ремонта составляют на основании дефектных ведомостей, в которых указывают перечень гидротехнических сооружений, подлежащих ремонту, виды и объемы работ. Дефектные ведомости заполняют по данным технического осмотра сооружений и наблюдений за состоянием и работой сооружений с использованием КИА. Выполнение капитального ремонта осуществляют на основании составленного проекта и сметы.



*Аварийные работы* выполняют с момента выявления аварийного состояния, применяя возможные меры по сокращению объема аварии.

При составлении проекта и проведения ремонтных работ следует руководствоваться действующими нормами.

*Ремонтные работы*, выполненные ремонтно-строительными организациями, принимает по акту комиссия. При этом проверяют соответствие выполненных работ проектам и сметам [33].

### **Контрольные вопросы**

1. Какие мероприятия выполняют при эксплуатации природоохранных сооружений?
2. Перечислите основные направления совершенствования эксплуатации водных объектов.
3. Охарактеризовать структуру службы эксплуатации.
4. Какие основные задачи службы эксплуатации?
5. Охарактеризовать систему контроля и надзора за работой сооружений.
6. Какую техническую документацию должна вести служба эксплуатации?
7. Какая периодичность наблюдений за сооружениями гидроузла?
8. Назвать и охарактеризовать факторы, воздействующие на сооружения.
9. Охарактеризовать показатели надежности сооружений.
10. Перечислить виды ремонтов и работы при их выполнении.

## ТЕМА 2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ, ПРУДОВ

### 2.1 Виды и задачи службы эксплуатации

*Эксплуатацию* водохранилища разделяют на общеперативную и техническую.

Общеперативная эксплуатация заключается в решении вопросов, которые затрагивают в целом интересы бассейна реки, которые реализуют государственные органы, управляющие водными ресурсами бассейна реки.

Техническую эксплуатацию водохранилища осуществляют непосредственно службы эксплуатации, в задачи которой входит: постоянное оперативное управление техническими устройствами основных сооружений гидроузла в целях:

- создания необходимого запаса воды и подачи ее на орошение;
- выполнение эксплуатационных планов по наполнению и опорожнению водохранилища;
- проведение наблюдений и исследований, связанных с эксплуатацией водохранилища;
- надзор и контроль за состоянием сооружений гидроузла и поддержание их в рабочем состоянии;
- разработка мероприятий по приведению сооружений гидроузла и чаши водохранилища в надлежащее техническое состояние;
- выполнение ремонтных работ.

*Техническая эксплуатация* водохранилищ, прудов, обслуживающих хозяйство, заключается:

- в наполнении и опорожнении пруда;
- поддержании всех сооружений (плотины, водосбросы, водовыпуски) в рабочем состоянии;
- учете воды па входе и выходе из пруда;
- оценке качества воды;
- наблюдении за состоянием сооружений, гидромеханического оборудования и всех устройств;

## 2.2 Режим эксплуатации водохранилищ

*Режим эксплуатации* водохранилища определяется следующими положениями:

– отметка уровня воды в водохранилище и нормативных условиях его эксплуатации не должна превышать отметки НПУ;

– отметка уровня воды при пропуске расчетного максимального паводка - отметки ФПУ;

– излишки воды, возникающие в период наполнения емкости водохранилища, сбрасывают в НБ, не допуская превышения уровней воды в нем согласно проектным значениям.

*Режим эксплуатации* обеспечивают периодическим наполнением и опорожнением емкости водохранилища.

Темпы наполнения и опорожнения водохранилищ не должны вызывать опасных деформации тела плотины каналов, обеспечивающих эти процессы.

При наполнении и опорожнении водохранилища должна обеспечиваться устойчивость откосов и целостность крепления. Скорость наполнения водохранилища ориентировочно должна составлять: для нижних и средних слоев – 0,5–1 м/сут, для верхних – 0,25–0,5 м/сут, для поверхностных 0,05–0,1 м/сут.

Ориентировочные скорости наполнения и сработки водохранилищ приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Ориентировочные скорости наполнения и сработки водохранилища, м/сут

Слой емкости	Наполнение	Сработка
Нижние	Без ограничений	1,0
Средние	0,5–1	0,5
Верхние	0,25–0,5	0,3
Последние 2–3 м	0,05–0,1	0,3

Нарушение режима эксплуатации водохранилища приводит к аварийным ситуациям:

- повышение уровня воды сверх проектных;
- увеличение выше проектных фильтрационных расходов в дренаже;
- появление сосредоточенных выходов фильтрационных вод на сухом откосе грунтовой плотины выше дренажных устройств;
- возникновение сосредоточенного тока воды по контакту тела грунтовой плотин с поверхностями бетонных сооружений со стороны НБ или обходной фильтрации с выходом у подошвы плотины;
- обрушение и оползание откосов грунтовой плотины;
- разрушение сооружения, входящего в напорный фронт или обеспечивающего эвакуацию паводковых расходов, которое может привести к общей аварии гидроузла.

Для избежания аварийных ситуаций паводок через каскад гидроузлов или отдельный гидроузел пропускают с учетом наполнения водохранилищ и пропускной способности сооружений. При прогнозе интенсивных дождей следует осуществить предупредительную сработку емкости водохранилища. В наливных водохранилищах в период ливней ограничивают пропускную способность подводящего канала, не допуская превышения максимальных уровней воды и возникновения подпоров.

При катастрофических паводках, превышающих расчетную пропускную способность водосбросных сооружений гидроузла, допускается форсировка уровня воды выше отметки НПУ. При дальнейшем увеличении расхода может быть осуществлен временный сброс воды через резервные водосбросы, в обход основных сооружений гидроузла, с разрушением размывных перемычек, а также в исключительном случае аварийный сброс через прокоп в заранее выбранном месте с принятием необходимых мер против расширения зоны прокопа за счет его саморазмыва [33].

При зимнем режиме эксплуатации водохранилищ глубокая сработка уровня недопустима из-за возможной надвижки льда

на сооружение, а также забивки шугой или льдом решеток глубинных водопропускных отверстий. Максимально возможный зимний уровень воды устанавливают с учетом его подпора ледяным покровом. Для обеспечения необходимого режима следует темпы снижения уровня воды значительно уменьшать против рекомендуемых в таблице 2.1, чтобы не вызвать разрушений креплений откосов. Поднятие уровня допускается после начала таяния льда.

Периодически, в зависимости от прогноза температуры воздуха, следует осуществлять обогрев затворов, их пролетных, пазовых, закладных и шарнирных конструкций не допускающая обследования.

Обеспечение технически исправного состояния сооружений и водохранилища осуществляется мероприятиями, приведенными в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Природоохранные и эксплуатационные мероприятия

Природоохранные и эксплуатационные	Ремонт		
	текущий	капитальный	аварийный
Комплекс организационно-хозяйственных агролесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических и других работ, позволяющих поддерживать требуемую санитарную обстановку и равновесие экологических систем в водохранилищах, обеспечивающих качество воды в водохранилищах на уровне действующих санитарных норм	Текущий ремонт по устранению дефектов и повреждений в сооружениях без остановки работы системы и, как правило без снижения уровня воды в водохранилище	Капитальный ремонт по полной или частичной замене износившегося оборудования. Объем, состав и сроки определяет специальная комиссия	Аварийный ремонт при повреждениях и разрушениях от стихийных явлений, проводятся внепланово в сжатые сроки

## 2.3 Эксплуатационные природоохранные мероприятия

*Эксплуатационные природоохранные мероприятия* представляют комплекс организационно-хозяйственных, агролесомелиоративных, агротехнических, лугомелиоративных, гидротехнических и других работ, направленных на поддержание экологического равновесия в водоохранной зоне и акватории водохранилища.

Для реализации природоохранных мероприятия в районе водохранилища предусматривают специальные зоны: водоохранную, санитарную и прибрежную полосу. Существует также зона строгого режима, которую располагают у водоподпорных, водопропускных и других ответственных ГС.

Водоохранная зона – это прибрежная полоса, на которой осуществляется комплекс мероприятий, направленных на поддержание надлежащего технического состояния водоема. Граница этой зоны составляет 500–2000 м и более от уреза воды при НПУ. В этой зоне запрещено строить предприятия, проводить опыление с помощью авиатехники на расстоянии ближе 2 км, размещать склады с удобрениями, ядохимикатами, пасти скот, вырубать лес.

Санитарная зона, которая служит для осуществления санитарных мероприятий, может иметь три пояса. Расстояние от уреза воды при НПУ до границы санитарной зоны изменяется от 100 до 1000 м. К этой зоне предъявляются повышенные требования.

Прибрежная зона – территория на которой запрещается распахивать земли, размещать автомобили, садовые участки и т. д.

Она располагается на расстоянии 35–100 м от уреза воды. Эффективным мероприятием, направленным на поддержание надлежащего технического состояния водоема, является создание в прибрежной зоне лесонасаждений в три пояса: I – берегоукрепительный – расположен в зоне НПУ и представляет собой 2–3 ряда кустарников выдерживает кратковременные затопления; II пояс размещают в зоне затопления при ФПУ, который создают из тополей и древовидных ив; III пояс располагают выше ФПУ, он является противоэрозионным, создается из засухоустойчивых пород.

Агротехнические мероприятия в водоохранной зоне водохранилища направлены на уменьшения процессов эрозии: вспашка земель на глубину 25–30 см поперек склона, безотвальная обработка почв, снегозадержание; закрепляют склоны лесолуговым способом [33].

Применяют также противозрозионные ГС: водозадерживающие валы-канавы, террасы, валы-террасы; водонаправляющие – нагорные канавы, валы-распылители, канавы-распылители; водосбросные – быстротоки, перепады, консольные водосбросы; донные – запруды, полузапруды, перепады, пороги.

Мероприятия проводит служба эксплуатации с целью:

- поддержания качества воды в соответствии с санитарными требованиями;
- защиты водоисточника от загрязнения;
- уменьшения потерь воды и повышения КПД водоисточника;
- борьбы с заилением и зарастанием;
- недопущения попадания в него пестицидов и минеральных удобрений;
- предотвращения загрязнения водоема сточными водами.

Оценку качества воды осуществляют согласно экологических требований с позиций: «вода-сооружение», «вода-почва», «вода-растения». Согласно данным требованиям в основу нормирования качества воды положены следующие принципы:

- принцип зависимости сохранности долговечности материалов и надежности функционирования сооружений от химического состава, свойств оросительной воды, взвешенных частиц;
- принцип зависимости плодородия почв, водопотребления, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции от свойств воды химического состава, содержания загрязняющих веществ в оросительной воде.
- принцип лимитирующего признака вредности, согласно которому устанавливаются предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ вводе;

– принцип направленного формирования химического состава и свойств оросительной воды с целью оптимизации основных показателей мелиоративного режима почв.

Развитие процессов и системе «вода-сооружение» определяет вечность и работоспособность насосно-силового оборудования, узлов, механизмов, водовыпускных устройств и элементов ГТС и определяет надежность функционирования оросительных систем.

При использовании минерализованных вод возникает опасность развития коррозии металлов, а при повышенном содержании солей возникает опасность формирования на оборудовании корковых наростов из ила, карбонатов, железа и биомассы. Вода оказывает коррозийное воздействие на бетонные конструкции оросительных систем. При использовании маломинерализованной воды с низкой карбонатной жесткостью или содержащей угольную кислоту, возникает выщелачивающаяся коррозия (растворяется известь в бетоне).

Процессы, происходящие в системе «вода-сооружение» определяют три группы показателей (А, В, С) качества воды, подлежащих нормированию, которые приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели качества оросительной воды, подлежащие нормированию в системе «вода-сооружение»

Группа показателей	Ламинирующий признак вредности	Показатель
А	Агрессивность воды по отношению к бетону	Водородный показатель, аммоний, магний, сульфаты, угольная кислота
В	Коррозия и образование осадка карбонатов	Индекс Ланжелье. Индекс Ризнера
С	Засорение и закупорка оборудования	Водородный показатель, сухой остаток, взвешенные вещества, марганец, железо, сероводород, микробные популяции, скорость биообращения



Первая группа характеризуется показателем агрессивности воды по отношению к бетону.

Вторая группа включает показатели, характеризующие опасность развития коррозии и образования труднорастворимых карбонатов.

В третью группу входят показатели, характеризующие опасность засорения капельниц.

Под воздействием сульфатов, содержащихся в воде, образуются соединения, которые занимают больший объем, чем исходные компоненты цемента. В результате появляются внутренние напряжения, которые разрушают бетон за счет разбухания. Наиболее сильное агрессивное воздействие оказывает сульфат магния и аммония, так как разлагают гидратированные силикаты кальция.

Для обеспечения надлежащего качества воды осуществляют водоохранные мероприятия, направленные на снижение концентрации загрязняющих веществ в соответствии с требованиями «Правил охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами». Разработку водоохранных мероприятий осуществляют на основе анализа современного состояния природоохранных компонентов и перспектив их использования.

Эффективными мероприятиями для поддержания требуемого качества воды в водохранилище являются:

- создание такой проточности, при которой вода в течение года обновляется не менее 10 раз;
- борьба с мелководьями, которые ликвидируют с помощью обвалования;
- фильтрация воды через песчаные и гравийные пляжи в межбунных пространствах;
- создание одно или двухступенчатых биологических прудов и фотосинтезирующей аэрацией их микроводорослями и макрофитами.

Водохранилища оказывают различное воздействие на окружающую среду, в том числе и на гидрогеологические условия прилегающей территории, вызывая их подтопление и заболачивание. Данный процесс обуславливается значительными

фильтрационными потерями воды через дно, берега водохранилища, что негативным образом сказывается на водообеспеченности водоема.

Потери воды ( $V$ ) на фильтрацию происходят через дно ( $V_d$ ) водоема, его берега ( $V_6$ ), тело плотины ( $V_{пл}$ ):

$$V = V_d + V_6 + V_{пл}. \quad (2.1)$$

Потери воды через дно к моменту смыкания фильтрационного потока с грунтовыми водами определяют по формуле:

$$V_d = \mu \cdot h_0 \cdot A_{НПУ}, \text{ м}^3, \quad (2.2)$$

где  $\mu$  – недостаток насыщения грунта;  
 $h_0$  – глубина от дна водоема до уровня грунтовых вод, м;  
 $A_{НПУ}$  – площадь зеркала воды при НПУ, м.

Потери воды на фильтрацию через берега водоема определяются по формуле Н. Н. Веригина. Объем воды, профильтровавшейся в берег на 1 п. м. его длины, составит:

$$V_6 = (y_1^2 - h_1^2) \cdot \sqrt{\frac{K_{ср} \cdot \mu \cdot T}{\pi \cdot h_{ср}}}, \quad (2.3)$$

где  $h_1$ , – глубина грунтового потока до подпора, м;  
 $y_1$  – глубина грунтового потока при подпоре, м;  
 $K_{ср}$  – средневзвешенный коэффициент фильтрации грунтов, м/сут;  
 $T$  – время, в течение которого происходит фильтрация, сут.

После установления потерь воды из водоема уточняют его полезный объем ( $V_{ползн.}$ ) и определяют коэффициент полезного действия который составляет:

$$КПД = \frac{V_{ползн.}}{V_{полн.}}, \quad (2.4)$$

где  $V_{полн.}$  – полный объем пруда, м<sup>3</sup>.

Затем уточняют оросительную способность пруда:

$$A = \frac{V_{\text{полезн.}} \cdot E}{I}, \quad (2.5)$$

где  $E$  – КПД закрытой оросительной сети;  
 $I$  – средневзвешенная оросительная норма.

После установления фактических показателей водоема их сравнивают с проектными значениями и, в случае значительных отклонений назначают мероприятия по устранению негативных процессов.

При значительных потерях воды рекомендуется использовать противоточные покрытия на основе их технико-экономического обоснования.

## 2.4 Наблюдения на водохранилищах

Наблюдения на водохранилищах проводят на специальных пунктах наблюдений.

Расположение пунктов наблюдений намечают при разработке проекта водохранилища. Наблюдения проводят за: уровнями воды в бьефах, заилием, зарастанием; волнением, перестроением берегов, оползневыми явлениями, ледовыми режимами, температурой воды, гидрохимическим режимом, качеством воды и т. д.

Наблюдения за уровнями воды проводят на водомерных постах для расчета объема воды, площади затопления территории и расхода воды, проходящей через водопропускные отверстия гидроузла или в водозаборные устройства.

На водохранилищах применяют речные посты. В обычных условиях уровни воды измеряют с точностью до 1 см ежедневно в 08:00. В период паводка наблюдения выполняют через каждый час, а при интенсивном снижении или повышении уровня – 3 раза в сутки. По полученным данным строят график колебания уровней и определяют объем водохранилища.

С наполнением водохранилища грунтовые воды на прилегающей территории поднимаются, что может привести к заболачиванию территории.

Наблюдения за заилением заключается в определении толщины слоя отложившихся наносов путем замера глубин по створам.

Для определения гранулометрического состава и объемного веса наносов отбирают по 5–7 проб на каждом створе. В первые 2–3 года, эксплуатацию водохранилища это добавляют ежегодно, в последующие годы по мере надобности.

Зарастание водохранилища, как и заилиение уменьшает объем. Наблюдения за ним осуществляют в летнее время визуально, или с помощью приборов.

Наблюдения за волнением проводят по рейкам, уложенным на откос под определенным углом к горизонту и снабженными шкалой измерения.

За волнениями больших акваторий наблюдают с помощью аэрофотосъемки.

Наблюдения за переформированиями берегов водохранилища позволяют оценить степень заилиения водохранилища, образование отмелей в результате отложения продуктов размыва части берега у прибрежной зоны. При этом проводят следующее: визуальные обследования побережья и сбор материалов по затопляемым участкам берега: топографическую съемку береговой полосы; нивелировку поперечников и промеры глубин; геологические и гидрогеологическое обследование участков вероятной переработки, включая отбор образцов грунта, наблюдения за развитием оползневых явлений.

Наиболее ответственные участки – берега, примыкающие к сооружениям гидроузла, инженерной защитой и легкоразмываемыми участками. Наблюдения осуществляют с помощью геодезических приборов, по результатам которых составляют карты инженерно-геологических условий.

Инструментальные наблюдения выполняют весной, после прохождения паводка, и осенью после окончания периода дождей.

При наблюдении за оползневыми явлениями проводят общий осмотр берегов, описывают деформации, состояние дренажных систем и составляют заключения по характерным участкам ожидаемых оползней. Фиксируют положение предполагаемого оползня на местности и на планшете, а также через определенные периоды зарисовывают и фотографируют наиболее характерные места. Для инструментального наблюдения на оползне и за его пределами размещают марки, привязанные к ближайшему реперу. Наблюдения проводят весной, после таяния снега и осенью, после прекращения интенсивных дождей.

Незначительные оползни в надводной части закрепляют сквозными ж/б обрешетками, заполненными грунтом и прикрепляемыми к основному массиву с помощью свай.

Гидрохимический режим водохранилища определяется условиями испарения воды, появлением размываемых солей в составе береговых обнажений, которые увеличивают минерализацию воды, сбрасываемую в том числе и в нижний бьеф.

Наблюдения за химическим составом воды проводятся с целью установления уровня загрязнения сточными водами. Определения загрязняющих ингредиентов.

Наблюдения за температурой воды осуществляют 1 раз в сутки в 12:00 на вертикалях, удаленных от уреза воды на 3 и 20–30 м. Температуру измеряют в поверхностной зоне (0,5–1 м от поверхности), придонном слое и середине в зависимости от глубины водохранилища. Ледовый режим характеризуется тремя основными периодами: замерзание, ледостав и вскрытие. С наступлением зимы на водохранилищах наблюдают за началом появления льда, установлением ледостава, видами ледовых образований, состоянием ледяного покрова и его деформациями, толщиной льда, снеговым покровом, вскрытием льда, ледоходом. Для этой цели пробуривают скважину во льду на расстоянии не менее 3 м от берега, а при толщине льда более 0,15 м замеры проводят также на расстоянии 20–30 м от уреза

воды. При наблюдениях за ледовым режимом в целях безопасности надо иметь в виду, что у берегов он всегда толще, чем в открытой зоне водохранилища. В больших водохранилищах лед тает на месте, а в средних и малых при наличии больших половодий его сбрасывают в нижний бьеф через водосбросные отверстия.

Результаты наблюдений заносят в специальные журналы с результатами замеров. Визуальных наблюдений, которые в дальнейшем подлежат обработке, анализу и принятия конкретных мер по устранению выявленных дефектов.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить основные задачи службы эксплуатации.
2. Какой режим эксплуатации водохранилища?
3. Какие аварийные ситуации могут возникать на водохранилище?
4. Какие мероприятия проводят для избежания аварийных ситуаций?
5. Для какой цели проводят эксплуатационные природоохранные мероприятия?
6. Назначение и параметры зон, устраиваемых вокруг водохранилища?
7. Как служба эксплуатации оценивает качество воды и какие мероприятия проводит по ее улучшению?
8. Виды фильтрационных потерь воды из водохранилища, его оросительная способность.
9. Назначение, средства и способы наблюдений за уровнями, заилением, зарастанием волновыми воздействиями, оползневыми явлениями, ледовым, температурным и гидрохимическим режимом в водохранилище.

## ТЕМА 3. ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРУНТОВЫМИ ПРИРОДООХРАННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

### 3.1 Виды натуральных наблюдений

Оценка технического состояния природоохранных сооружений в условиях эксплуатации осуществляется с помощью проведения натуральных наблюдений, которые включают *визуальные и инструментальные*.

*Натурные наблюдения* представляют собой комплекс работ (измерения, испытания, осмотры, обработка и анализ результатов и пр.) по контролю текущих значений параметров, характеризующих соблюдение проектных требований к технологии возведения сооружения, *фактические нагрузки* и воздействия на сооружение, его работу и *состояние* с точки зрения безопасности [33].

*Натурные наблюдения* осуществляют в соответствии с правилами и рекомендациями по организации и методике их проведения, которые должны осуществляться систематически с целью:

- оценки состояния гидротехнических сооружений;
- выявления процессов и явлений, нарушающих нормальные условия их работы;
- принятия мер к устранению отклонений от нормальной работы.

### 3.2 Визуальные наблюдения

*Визуальные наблюдения* позволяют получить *предварительные впечатления* о работе сооружений, поэтому они проводятся на сооружениях всех классов капитальности и являются составной частью натуральных наблюдений. На их основе намечается состав последующих инструментальных натуральных исследований.

*Визуальные наблюдения* заключаются в тщательном *осмотре сооружений* и их элементов с замерами и зарисовкой,

фиксацией места, где наблюдаются дефекты. Они позволяют обнаружить отдельные дефекты или опасные явления в работе гидротехнических сооружений:

- осадки, подвижки, перемещения, оползни, трещины;
- выход фильтрационных вод на откосы грунтовых плит, основания в нижнем бьефе;
- размывы откосов, русел, берегов;
- суффозионные процессы.

При этом обращают внимание на: появление обвалов, оплывов и оползание масс грунта; появление трещин на поверхности сооружения; образование борозд под действием смыва грунта с откосов потоками дождевой воды; образование просадок в виде местных впадин на поверхности сооружения под действием уплотнения грунта или его суффозии; образование просадочных трещин; выпор грунта под действием фильтрационного потока или у его основания под давлением сооружения; размыв грунта с откосов текущей водой и другие виды нарушений.

Состояние крепления верховых откосов определяют по просадкам крепления, деформациям и разрушениям плит, расхождениям и деформациям швов, оползаниям или перемещениям и т. д.

Низовые откосы характеризуют состоянием травяной растительности, повреждениями землеройными животными, деформациями и размывами.

При оценке состояния ливнесбросной сети обращают внимание на: засорение, заиливание, зарастание, разрушение, деформацию лотков, кюветов, водосбросных канав.

При наблюдении за процессом фильтрации фиксируют: выход фильтрационных вод на откос, в береговых примыканиях, выше дренажных устройств; выпор грунта из-под сооружения за низовым откосом; образование значительной фильтрации в виде ключей, свищей и т. п.; устраивают небольшие канавки для отвода и измерения расхода профильтровавшейся воды (мерными устройствами, поплавками и др.). При этом



следует контролировать появление в фильтрате мутных струек, глинистых частиц, отложений песка. С целью фиксации отложений, которые выносятся из тела сооружения за канавкой устраивают небольшой отстойник.

При *визуальных наблюдениях* за состоянием облицовок, креплений грунтовых сооружений описывают *состояние покрытия, облицовок или креплений*. Особое внимание обращают на: возможность выноса и разрушения уплотняющих материалов из швов бетонных и ж/б элементов крепления под воздействием волн, фильтрационного потока при колебаниях уровней воды; образование промоин под облицовками, движением грунтовых вод, строительными дефектами; состояние крепления плит между собой.

В зимних условиях, при сработке водохранилища, лед, примерзший к креплению откоса может разрушить крепление, а в период ледохода возможен навал льда на откос. В условиях динамического воздействия льда на крепление оно может повредиться, и наиболее опасным местом является зона водопропускных отверстий, где возрастают скорости потока.

### **3.3 Инструментальные методы технической диагностики**

*Наблюдения* за эксплуатационными сооружениями осуществляют с помощью контрольно-измерительной аппаратуры (КИА), которая в зависимости от назначения может устанавливаться: в *грунте основания*, на *поверхности*, *внутри тела сооружения*, на прилегающей территории.

*Размещение КИА* определяется *проектом натурных наблюдений*, в котором определяется состав и объем наблюдений, типы и количество КИА, способ установки и крепления аппаратуры, состав специальных групп для установки КИА, проведения наблюдений, обработки и анализа полученных данных. *Измерительную аппаратуру* размещают в *характерных измерительных сечениях* (горизонтальных и вертикальных), система которых позволяет судить о пространственной работе сооружения. Измерительные сечения располагают в местах

возможных максимальных значений, измеряемых параметров: в наиболее высокой русловой части плотины, в местах изменяющихся топографических и инженерно-геологических условий в основании, бортовых примыканиях, на контакте двух сред с различными характеристиками деформируемости или водопроницаемости.

*Инструментальные наблюдения* за перемещениями конструкций проводят с помощью геодезических приборов и приспособлений: репере марок, створных знаков и указателей.

*Реперы* – исходные знаки высотной основы, неподвижные в течение всего периода эксплуатации. Схема расположения реперов приведена на рисунке 3.1. Они служат для определения высотного положения отдельных точек сооружений с помощью нивелирования. Их разделяют по:

- капитальности (фундаментные), исходные, рабочие;
- местоположению (поверхностные, глубинные, степенные);
- возведению (устроенные путем рытья котлована, бурения скважин, заделанные в стены и другие конструкции);
- климатическим условиям.

*Марки*, устанавливаемые на сооружениях для измерения их деформаций (осадок) подразделяются по:

- размещению (поверхностные, глубинные),
- назначению (постоянные, временные).

*Поверхностные марки* служат для измерения суммарных осадок тела плотины и основания. Их располагают на гребне, откосах или бермах грунтовых сооружений.

Относительные деформации тела плотины в различных точках и любых направлениях определяют с помощью глубинных марок.

Наблюдения за плановыми перемещениями гребня или берм плотин выполняют методами створов, триангуляции, комбинированным.

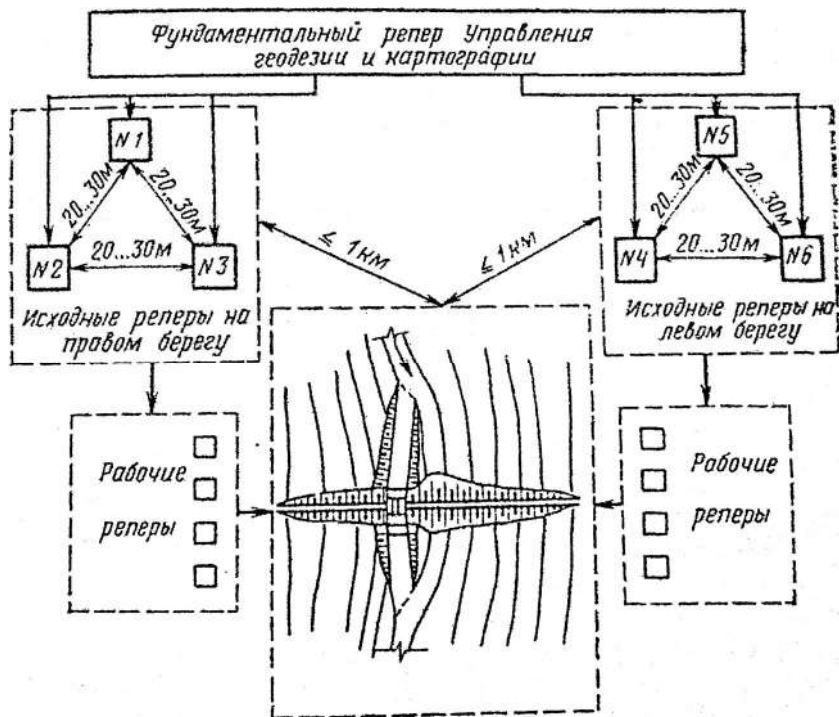


Рисунок 3.1 – Схема расположения реперов

За перемещениями плотин, которые имеют прямолинейные оси наблюдают методом створов. Если створ плотины состоит из нескольких прямолинейных участков, то применяют комбинированный метод – на прямолинейных участках используют метод створов, а точки излома оси фиксируют методом триангуляции.

Для фиксирования *положения осей различных коммуникаций*, проложенных в теле плотины (дренажей, экранов, крепления, диафрагм) применяют знаки-указатели и створные знаки. Для эксплуатационных целей высотные марки располагают по продольным или поперечным осям (рисунок 3.2). Продольные – по гребню, бермам и у подошвы низовую откоса, поперечные – на расстоянии 100–250 м в пойменной части и 50–100 м в русловой, в местах поворотов плотин. Их

также устанавливают за низовым откосом для определения выпора грунта.

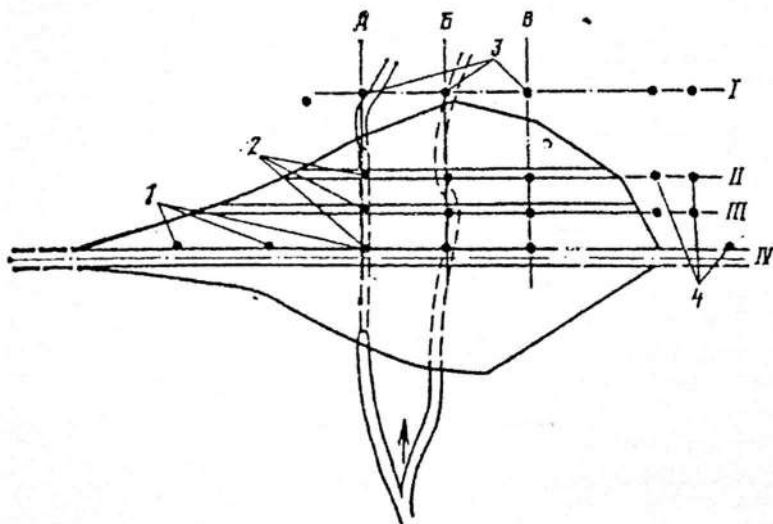


Рисунок 3.2 – Схемы размещения марок и створных знаков на грунтовой плотине:

- 1, 2 – для определения продольной и поперечной осадки;
- 3 – для фиксирования появления выпора; 4 – створные знаки;
- I– IV – продольные створы; А, Б, В – поперечные створы

*Глубинные и телескопические марки* размещают в тех же створах на расстоянии 1–1,5 м от поверхностных. Их располагают через 20–30 м по высоте в местах излома очертания профиля плотины, на границах изменения конструкции и в местах с различным геологическим строением. На поперечнике устанавливают не менее трех марок через 10–20 м по высоте. На верховом откосе марки размещают на участке от гребня до НПУ и на 1–2 м выше УМО [33].

*Поверхностные марки* закладывают непосредственно после окончания возведения сооружения. Глубинные марки устанавливают в два приема: по время возведения плотины укладывают плиты, а после отсыпки сооружения бурят скважины и монтируют марки.

*Реперы, марки* и другие знаки фиксируют актами, в которых указывают: дату установки, координаты, срок службы, отметку якоря или башмака, геологический разрез скважины.

Установленные и отnivelированные реперы подвергают контрольному нивелированию.

Приборы, служащие для измерения *пьезометрических уровней* (напоров) в отдельных точках тела и оснований сооружений называются пьезометрическими. С их помощью оценивают фильтрационный режим и работу противофильтрационных устройств.

*Пьезометры* классифицируют по:

- способу установки – закладные (устанавливают в сооружении в момент строительства);
- опускаемые (монтируют в собранном виде и опускают в скважину);
- основные (поверхностные) для определения положения депрессионной кривой в теле или береговых примыканиях грунтовых плотин);
- глубинные (для определения противодействия в основании плотин);
- точечные (для контроля фильтрационного режима у дренажных устройств и других характерных точках);
- местоположению устья (открытые, напорные, напорно-безнапорные).

Число и местонахождение пьезометров зависит от конструкции, размеров, геологического строения тела плотины, береговых примыканий и гидрологических особенностей в районе расположения сооружений. Направление створов принимают прямолинейным, параллельным линиям токов фильтрационного потока.

*Створы пьезометров* размещают в местах сопряжения грунтовых и бетонных сооружений, за береговыми устоями.

*В теле плотины* размещают не менее трех створов, в береговых примыканиях – не менее двух створов. В каждом *створе* должно быть достаточное число пьезометров для определения

характера расположения депрессионной кривой (не менее трех в теле плотимы и один или несколько пьезометров в нижнем бьефе сооружения рисунок 3.3. По одному пьезометру размещают перед противодиффузионными устройствами и за ними для оценки их работы, а также в зоне выклинивания фильтрационного потока на низовой откос в районе дренажа.

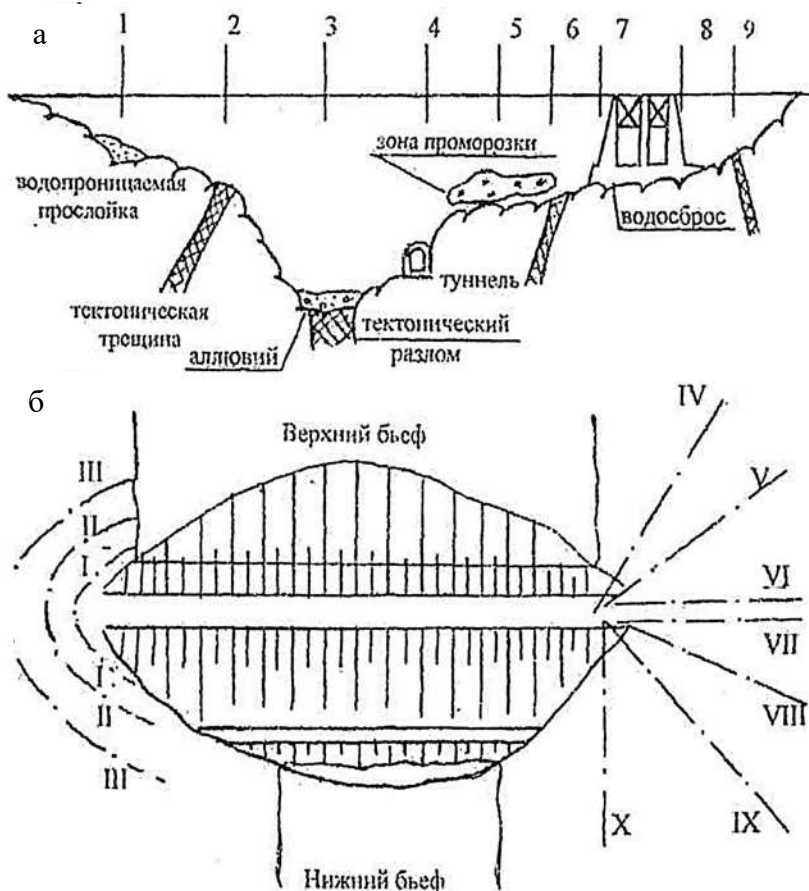


Рисунок 3.3 – Размещение наблюдательных пьезометрических створов: а – размещение створов в характерных участках плотины (продольный разрез); 1–9 – номера поперечных створов; б – размещение контрольных створов в береговых примыканиях; I, II, III – криволинейные створы по линиям тока; IV–X – лучевые створы

После установки пьезометра его устье нивелируют и отметку записывают в журнал.

Наблюдения за *поровым давлением и фильтрационным напором* в маловодопроницаемых грунтах измеряют с помощью пьезодинамометров, которые в плотине размещают также, как и пьезометры. За *поровым давлением наблюдения* проводят в противофильтрационных элементах плотин и в основаниях, сложенных из глинистых грунтов, в плотинах высотой более 25 м.

*Оценка прочности и устойчивости* грунтовых сооружений осуществляется с помощью струнного грунтового динамометра конструкции гидропроекта.

*Грунтовые динамометры* устанавливают в глинистых и мелкозернистых грунтах в следующих элементах:

- в теле плотины;
- глинистом экране, ядре;
- на поверхности сопряжения противофильтрационных элементов (экран, ядро, диафрагма) с упорными призмами плотины;
- на поверхности элементов бетонных сооружений, примыкающих к телу грунтовой плотины.

По *оси плотины* размещают *динамометры* совместно с *пьезодинамометрами*. В местах измерения напряжений устанавливают один пьезодинамометр и не менее трех грунтовых динамометров, расположенных горизонтально, вертикально и под углом  $45^\circ$  к горизонту. *Пьезодинамометр* всегда *устанавливают горизонтально*. В местах контакта водопропускных труб с телом плотины на их поверхности размещают грунтовые динамометры, позволяющие оценить давление грунта на трубы, и пьезометры или пьезодинамометры.

Местоположение грунтовых динамометров определяют зоны наиболее вероятных деформаций, повреждений.

Наблюдения за напряжениями и поровым давлением осуществляют:

- в строительный период (через 1–2 мес);

- во время наполнения водохранилища (через 7–10 сут);
- в первый год эксплуатации (через месяц);
- в последующие 2–4 года (через квартал);
- в дальнейшем (через полгода).

### **3.4 Организация проведения наблюдений и оценка состояния сооружений**

*Наблюдения проводят после установки КИА и затем проводят регулярно в процессе эксплуатации. Периодичность наблюдений определяется временем, прошедшим с момента установки КИА, характером исследуемого процесса. Во время строительства и в начальный период эксплуатации наблюдения проводят чаще, а по мере стабилизации наблюдаемых процессов интервал между наблюдениями составляет в период строительства от 1–2 дн до 1 мес, после наполнения водохранилища и ввода сооружения в эксплуатацию 1–6 мес.*

*Обработка и анализ результатов натурных наблюдений производится под надзором проектной организации, с участием, при необходимости научно-исследовательской организации. Конечным результатом наблюдений является оценка влияния изучаемых факторов на надежность работы сооружения или его элемента.*

*Состав наблюдений за перемещением плотин зависит от их высоты, конструкций, сжимаемости основания. На низких плотинах проводят наблюдения за осадками поверхностных точек (гребень, бермы). В плотинах средней высоты дополнительно измеряют горизонтальные перемещения поверхностных точек, а при необходимости перемещения во внутренних зонах (наличие в основании прослоек слабого грунта, при неоднородности и сильней сжимаемости основания) [33].*

*В каменно-земляных плотинах наблюдения за перемещениями осуществляют в следующих элементах: ядрах, экранах, переходных зонах, упорных призмах, противифльтрационных элементах, переходных зонах.*



*Наблюдения за перемещениями плотин осуществляют в период строительства и продолжают в период эксплуатации.*

*Измерения перемещения поверхностных точек, которые располагаются на поверхности сооружения (гребень плотины, бермы и пр.), производят геодезическими методами. Вертикальные перемещения (осадки) определяются периодическим нивелированием поверхностных марок от фундаментальных реперов опорной геодезической сети. Горизонтальные перемещения определяются методом визирования по створам, методом триангуляции или комбинированным методом. Метод створов применяют при наблюдениях с прямолинейной осью, длина которых по гребню не превышает 1000 м.*

*Метод триангуляции состоит в том, что горизонтальные перемещения визирных марок определяют методом засечек, которые производят теодолитом с неподвижных опорных пунктов триангуляционной сети. Этот метод применяют на сооружениях, ось которых имеет криволинейное или ломаное очертание.*

*Комбинированный метод применяют при наблюдениях за плотинами, ось которых состоит из нескольких прямолинейных участков или, когда ось прямолинейна, но нельзя надежно закрепить концы визирного створа. В этих случаях горизонтальные перемещения опорных пунктов, располагаемых в точках перелома оси плотины, определяют триангуляцией, а промежуточных точек – методом визирования.*

*Вертикальные перемещения внутренних точек грунтовых плотин и оснований, послойные осадки измеряют с помощью глубинных (одиночных или многоярусных) и гидростатических марок. Действие гидравлической марки основано на принципе сообщающихся сосудов. Один из них, помещенный в защитном кожухе внутри плотины, следует за деформациями последней, другой, в виде пьезометра, располагается на внешнем откосе плотины. Сосуды соединяют трубкой. При заполнении системы жидкостью, которая производят насосом, отметка верхнего обреза внутреннего сосуда фиксируется пьезометром.*

Жидкость, перелившаяся через верх внутреннего сосуда в защитный кожух, отводится наружу по сливной трубке.

Для измерения перемещений в любом направлении применяют глубинные электромагнитные марки.

*Периодичность наблюдений за осадками* гидротехнических сооружений определяется следующими факторами: скоростью нарастания деформаций  $V_i$ ; величиной деформации осадки  $\Delta S_n$ ; временем, прошедшим после начала развития деформаций.

*Периодичность наблюдений* определяется критерием времени:

$$\Delta t_n = \frac{\Delta S_n}{V_k} = \frac{3 \cdot m}{V_{k_{n-1}}}, \quad (3.1)$$

где  $m$  – среднее квадратичное отклонение одного измерения:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}, \quad (3.2)$$

откуда  $\delta_i = H_i - \bar{H}$ , определенное по менее чем из двух повторных измерений;

$V_k$  – критическая скорость нарастания деформации, установленная, проектной организацией на основании метода аналогий ( $1 \leq V_k \leq 10$  мм/мес).

*Критериями безопасных деформаций* гидротехнического сооружения из грунтовых материалов являются: текущая переменная величина деформации (осадка  $S_1$ , мм); критическое значение величины деформации сооружения ( $S_k$ , мм), предусмотренного проектом; время нарастания деформации плотин ( $t_0$ , мес, год); текущая переменная интенсивность ( $V_1$ , мм/мес, мм/год, скорость изменения деформации); максимальное (критическое) значение скорости изменения деформации ( $V_k$ , мм/мес, мм/год).

*Основными критериями* состояния сооружения являются:

– критерий интенсивности осадки:  $0 \leq V_1 \leq V_k$

$$S_{min} - \Delta s \leq S_1 \leq S_{max} + \Delta S, \quad (3.3)$$

где  $\Delta s$  – общий интервал определения и оценки точности геодезических измерений осадки сооружения, мм.

Интенсивность деформации определяется по формулам:

$$V_n = \frac{\Delta S_n}{\Delta t_0} \quad \text{или} \quad V_n = \frac{dS}{dt}, \quad (3.4)$$

При этом, величина осадки составит:

$$\Delta S_n = S_{n-1} - S_n. \quad (3.5)$$

*Деформации плотин* из грунтовых материалов происходят в виде оползания откосов, осадок, просадок и горизонтальных перемещений, вызванных уплотнением материала тела сооружения и основания под действием собственного веса, воздействием воды водохранилища, сейсмическими воздействиями. Особенно опасным являются неравномерные деформации в продольном и поперечном направлениях, которые сопровождаются образованием трещин, приводят к расстройству противопьфильтрационных элементов и обратных засыпок.

*Оползание откосов* плотин особенно опасно, если данный процесс происходит после наполнения водохранилища, в этом случае может произойти прорыв и полное разрушение сооружения.

*Причинами нарушений устойчивости* откосов, в основном, являются неправильный выбор расчетных характеристик сопротивления сдвигу грунтов тела плотины и основания, наличие в основании не выявленных при проектировании прослоек слабых грунтов; дефекты производства работ – недоуплотнение и переувлажнение грунтов насыпных плотин, переувлажнение грунтов основания. *Причинами оползания откосов* может быть недоучет гидродинамических сил, которые возникают в верховом клине плотины при быстрой сработке водохранилища на (0,5–0,7) Н. *Поверхностные и внутренние трещины* возникают в зонах растяжений и сдвигов, образующихся

в ядрах и экранах каменно-земляных плотин из связных грунтов в результате неравномерных деформаций различных участков сооружения в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Причинами неравномерных деформаций могут быть имеющиеся в основании тектонические нарушения, прослойки и линзы слабых грунтов, недоуплотнение материала тела плотины, гидростатическое давление воды со стороны верхнего бьефа и просадки верховой призмы при наполнении водохранилища, различие в деформативных характеристиках материалов различных элементов сооружения, сейсмические воздействия. Опасность образования трещин увеличивается при строительстве плотин в узких створах с крутыми склонами, при наличии в бортовых примыканиях резких переломов и уступов.

Трещины могут быть поперечными и продольными - в вертикальном и горизонтальном направлениях. Наиболее опасными являются сквозные поперечные трещины отрыва, которые образуются в гребневой части плотите в зонах растяжения, и продольные горизонтальные трещины во внутренних зонах, возникающие вследствие деформируемости смежных элементов плотины по контактам талого и мерзлого грунта под промерзшим гребнем плотины.

*Натурные наблюдения* за фильтрационным состоянием грунтовой плотины подразделяются на контрольные наблюдения и специальные исследования.

*Контрольные наблюдения* (визуальные и инструментальные) проводятся с целью текущего эксплуатационного контроля фильтрационных процессов и состояния сооружения.

*При организации фильтрационного контроля* на грунтовых сооружениях предусматривается:

- получение достоверной информации о фильтрационном режиме в теле, основании и на участках сопряжения с другими сооружениями;

- проверка проектных решений и корректировка их по натурным данным;

- сравнение натуральных данных с результатами поверочных расчетов для разработки критериев безопасности сооружений;
- оценка состояния сооружения и его отдельных элементов;
- разработка мероприятий по поддержанию сооружений в надежном состоянии, прогнозирование его дальнейшего поведения.

В задачу инструментального контроля входит влияние изменений параметров потока внутри области фильтрации.

Схема размещения фильтрационной КИА зависит от:

- конструкции сооружения и технологии ее возведения;
- физико-механических характеристик грунтов;
- геологических и гидрогеологических условий основания;
- режима регулирования бьефов;
- особенностей эксплуатации.

Створы наблюдений размещают на:

- русловом участке плотины, где она имеет максимальную высоту;
- резких изломах поверхности основания, зонах тектонических разломов и крупных трещин;
- сопряжениях с берегами;
- границах сопряжения плотины с бетонными сооружениями;
- в дефектных зонах плотины.

Наибольшее число аварий плотин связано с возникновением фильтрации в теле плотины, основании или береговых примыканиях. Причинами возникновения сосредоточенной фильтрации являются некачественное производство работ: недоуплотнение грунта; сегрегации материала при отсыпке в сооружение и образование сквозных ходов фильтрации; образованные в теле сооружения трещины, дефекты дренажной системы. Возможно возникновение сосредоточенной фильтрации, которая возникает по контакту с бетонными сооружениями (водовыпусками, сопрягающими стенками). Признаками

возникновения неблагоприятного фильтрационного режима являются: выход фильтрационного потока на низовой откос, образование на откосе или в нижнем бьефе очагов фильтрации (ключей). Помутнение воды в ручейках, выходящих из ключей, свидетельствует о суффозии грунта.

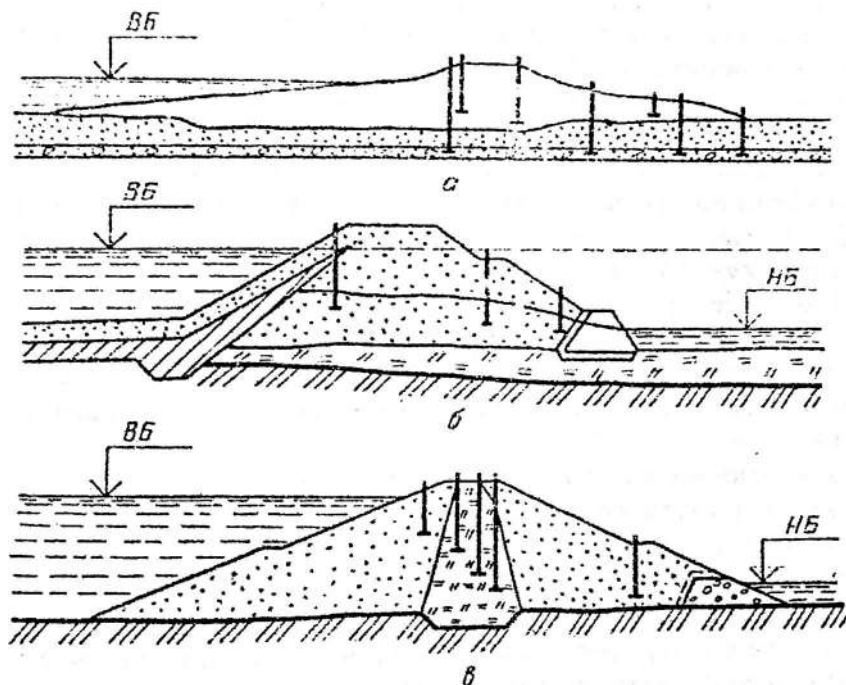


Рисунок 3.4 – Схемы размещения пьезометров:  
 а – в однородной плотине; б и в – в плотинах с экраном и ядром

*Фильтрационный расход* измеряют с помощью водомерных устройств, размещенных в смотровых колодцах па дренажных линиях или объемным способом, мерными водосливами [33].

При измерении фильтрационного расхода периодически отбирают пробы воды для химического анализа и определения мутности, по которым затем судят о концентрации солей, вымываемых из водорастворимых грунтов тела плотины или ее

основания, а также наличием твердых частиц – опасность возникновения суффозии.

*При проведении фильтрационных исследований* в грунтовых плотинных определяют положение депрессионной кривой, распределение гидродинамического давления и скоростей фильтрации в теле сооружения и основании.

*Повышение уровня депрессионной кривой* в теле плотины против расчетного или выход ее на низовой откос свидетельствуют о нарушении нормальной работы сооружения по тем или иным причинам (заиливание дренажа, образование сквозных ходов фильтрации, зон разуплотнения и др.).

*Наблюдения за пьезометрическими напорами* позволяют судить об эффективности противофильтрационных устройств и о фильтрационной прочности грунтов. Значительное превышение расчетных значений остаточных пьезометрических напоров за противофильтрационными устройствами свидетельствует о неудовлетворительной их работе, что соответственно требует проведения мероприятий, направленных на повышение их надежности.

*Фильтрационная устойчивость* тела, основания и противофильтрационных устройств грунтовых плотин оценивается на основании соответствующих расчетов по действующим СНиП 2.06.05-84 «Плотины из грунтовых материалов» и 2.02.02-85 «Основания гидротехнических сооружений».

*Расчеты фильтрационной прочности* выполняют, исходя из наибольшего напора, действующего на плотину.

*При оценке фильтрационной прочности* грунта тела и основания должно выполняться условие:

$$I_{est, m} \leq \frac{1}{\gamma_n} \cdot I_{cr, m}, \quad (3.6)$$

где  $I_{est, m}$  – действующий средний градиент напора в расчетной области фильтрации;

$I_{cr, m}$  ~ критический средний градиент напора, принимаемый на основании исследований фунтов в условиях, отвечающих реальным условиям эксплуатации сооружения;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружений.

*Для земляных плотин допустимым расходом фильтрации* считают на 1 м длины плотины: для песчаных грунтов (0,001–0,005) Н, л/с; суглинков (0,0002–0,001) Н л/с, где Н – напор плотины.

*Для оценки прочности и устойчивости* грунтовых сооружений осуществляют наблюдения за их напряженным состоянием.

*Напряжения* в грунтовых сооружениях определяют двумя способами: путем измерения деформаций материала и последующего их пересчета в напряжения методами теории упругости и пластичности; путем непосредственного замера напряжений.

*Напряжения измеряют* грунтовыми динамометрами различного типа: струнными, гидравлическими, пневматическими.

*Наблюдения за напряжениями* проводят в *противофильтрационных элементах* каменно-земляных плотин. В плотинах средней высоты напряжения замеряют в случае, когда осуществляют контроль за поровым давлением.

В *ядрах* и *экранах* плотин грунтовые динамометры устанавливают в нескольких точках по толще ядра и нескольких ярусах, по три в группе.

В плотинах, *противофильтрационными элементами* которых являются диафрагмы, грунтовые динамометры служат для измерения напряжений по контакте между диафрагмой и телом плотины.

В плотинах с ядрами и экранами в зонах максимальных деформаций (вблизи к склону, ущелью) рядом с грунтовыми динамометрами устанавливают приборы для измерения деформаций, которые ориентируют с учетом возможности совместного анализа показаний напряжений и деформаций.

*В местах контакта водопропускных труб* с телом плотины на их поверхности размещают *грунтовые динамометры*,



позволяющие оценить давление грунта на трубы, и пьезометры.

Наблюдения за напряжениями и поровым давлением осуществляют:

- в строительный период – через 1–2 мес;
- во время наполнения водохранилища – через 7–10 сут;
- в первый год эксплуатации – через месяц;
- в последующие 2–4 года – через квартал;
- в дальнейшем – через полгода.

Измерив нормальное напряжение в грунте  $\sigma$  и поровое давление  $\sigma_n$ , вычисляют нормальные напряжения в скелете грунта  $\sigma_{ск}$ :

$$\sigma_{ск} = \sigma - \sigma_n. \quad (3.7)$$

Имея нормальные напряжения в скелете грунта по трем направлениям под углом 45 и 90°, с помощью круга Мора определяют главные напряжения и направления головных осей напряжений, которые позволяют построить траектории главных напряжений.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается проведение натуральных наблюдений?
2. Какие визуальные наблюдения проводят на грунтовых сооружениях?
3. Назначение и классификация реперов, марок, указателей, створных знаков.
4. Принцип размещения КИА на грунтовых сооружениях.
5. Классификация и назначение пьезометров.
6. Каким методом определяют расход профильтровавшейся воды?
7. Конструкция и принцип действия приборов для измерения напора в порах грунта.
8. Конструкция и принцип действия приборов для оценки напряженного состояния плотин.
9. Какое условие должно выполняться при оценке фильтрационной прочности грунта чела плотины?

## ТЕМА 4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА БЕТОННЫМИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПРИРОДООХРАННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ

### 4.1 Цель и задачи натуральных наблюдений

*Целью организации* и проведения натуральных наблюдений на эксплуатируемых бетонных сооружениях является *контроль* за обеспечением *надежной и долговременной работы* этих сооружений, выявления и устранения недостатков их в работе.

Для надежной работы сооружения необходимо обеспечить устойчивость и долговечность каждого его элемента при всех сочетаниях нагрузок и воздействий, предусмотренных проектом.

*Устойчивость и долговечность* сооружения контролируется путем систематических натуральных *измерений и наблюдений*.

При организации натуральных наблюдений предусматривают решение следующих задач:

- контроль за состоянием и работой сооружения в период строительства и начальный период эксплуатации;
- контроль за состоянием и работой сооружений во время его постоянной эксплуатации;
- исследования для получения натуральных данных по определенным конкретным вопросам проектирования и строительства;
- обобщение материалов натуральных наблюдений и исследований с целью рационализации конструкции, а также методов проектирования, строительства и эксплуатации аналогичных сооружений.

За состоянием и работой сооружений ведут *визуальный и инструментальный* надзор.

## 4.2 Визуальные наблюдения

*Визуальные наблюдения* выполняют согласно разработанных программ за: общим состоянием бетона; фильтраций через бетонные сооружения; уплотнениями швов их раскрытием, образованием трещин; состоянием КИА.

Целью наблюдений за состоянием бетона заключается в следующем: выявление трещин, потеков, налетов, напластований продуктов выщелачивания, раковин пустот; отслаивания, выкрашивания бетона; обнажения арматуры и т. п. *Визуальные наблюдения* за бетонной поверхностью проводят на поверхностных и внутренних зонах (полости, смотровые галереи, колодцы, трубы, водоводы). Производят осмотр водозаборных, водоподпорных, сбросных сооружений. При этом выявляют состояние крепления верхнего и нижнего бьефов сооружений, щитов и винтовых подъемников (работа винто-подъемников, уплотнений и др.). Отмечают явления, связанные с фильтрацией воды через бетон (влажные пятна, сочащиеся участки поверхности, малые течи и др.).

Поверхности бетонных сооружений, находящиеся в зоне переменных уровней, осматривают в период пониженных уровней воды во время летнего периода с лодки, а зимой – с прочного ледяного покрова.

Особое внимание обращают на развитие трещин. *Трещины*, возникающие на элементах гидротехнических сооружений подразделяются на: усадочные, осадочные, температурные и эксплуатационные.

*Усадочные* образуются в период твердения бетона при его сжатии, вызванном усадочными явлениями материала. Осадочные трещины образуются оползневыми, сейсмическими и другими явлениями и являются наиболее опасными.

*Температурные* трещины образуются в период твердения бетона и эксплуатации при изменении температурных и температурно-влажностных воздействий.

*Эксплуатационные* трещины возникают в результате перегрузок отдельных элементов или всего сооружения в период

эксплуатации. Они являются наиболее опасными и со временем могут изменять свои геометрические размеры.

В зависимости от *характера развития трещины* подразделяются на прогрессирующие (активные), возрастающие с течением времени; стабилизирующиеся (затухающие), развитие которых уменьшается; неактивные (пассивные), имеющие практически стабилизирующиеся размеры.

При *визуальных* наблюдениях обращают внимание на заполнение швов уплотнителем и недопустимость образования в них льда. Значительная фильтрация через шов свидетельствует о нарушении уплотнения. Наибольшее раскрытие швов происходит зимой, а наименьшее летом. Увеличение раскрытия швов в другое время свидетельствует о неравномерных осадках или горизонтальных смещениях. Раскрытие трещин анализируют совместно с интенсивностью фильтрации через нее.

*Визуальные наблюдения* за бетонными сооружениями являются составной частью общих осмотров сооружений после зимней эксплуатации, паводка, стихийных явлений или аварий, а также при значительных сработках водохранилищ.

Дефекты, обнаруженные в процессе визуальных наблюдений, фиксируют в журнале: зарисовывают, фотографируют, указывают дату, объем и привязку местоположения дефекта.

### **4.3 Организации и состав наблюдений с применением контрольно-измерительной аппаратуры**

Согласно требованиям нормативных документов, *инструментальные наблюдения* за состоянием бетонных сооружений в период строительства и эксплуатации обязательны на сооружениях I, II и III капитальности.

Состав и объем этих наблюдений должны обеспечить достаточную информацию об общих перемещениях плотины, деформациях и напряжениях, фильтрационной устойчивости, температурном режиме, об обеспеченности высокого уровня надежности и долговечности сооружения [33].

В состав проекта *натурных наблюдений* и исследований входят:

- программа натурных наблюдений и исследований;
- чертежи размещения средств измерений;
- спецификации измерительных устройств;
- инструкция по установке измерительных устройств и проведению наблюдений;
- смета на проведение наблюдений и исследований.

Во время строительства должны быть установлены контрольные *реперы* и *марки* для контроля осадок и смещений, *пьезометры*, *водоспуски*, *водомеры* для наблюдений за фильтрационным потоком.

В сроки, установленные инструкцией, проводятся *наблюдения* за:

- осадками, деформациями, трещинами в бетонных сооружениях и облицовках, состоянием температурных и усадочных швов, креплением откосов;
- осадками, деформациями, трещинами в бетонных сооружениях и облицовках, состоянием температурных и усадочных швов, креплением откосов;
- фильтрацией через сооружения, работой дренажных устройств и отметками воды в пьезометрах;
- воздействием потока на сооружения, за размывом, истиранием облицовок, просадками, оползневыми явлениями, заилиением;
- воздействием льда на сооружения.

При необходимости должны проводиться наблюдения за прочностью бетона, химическим составом воды, температурным режимом железобетонных конструкций.

Все *реперы*, *знаки*, *контрольно-измерительные приборы* и *пьезометры* должны быть занесены в ведомость с указанием места их расположения, даты установки, начальных отсчетов и результатов последующих проверок.

Периодически должна производиться сверка отметок реперов с отметками базисных реперов.

Эксплуатационный персонал должен тщательно следить за сохранностью всех марок, реперов, контрольных знаков, т.к. от этого зависит точность наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений.

Поскольку реперы могут смещаться со временем под влиянием малозаметных деформаций, то необходимо их периодически проверять и связывать с базисными реперами, отметки которых определяют по государственной опорной сети.

Бетонная *плотина* находится под постоянным воздействием вертикальных и горизонтальных нагрузок:

- собственного веса бетона;
- гидростатического давления на напорную и низовую грани;
- фильтрационного противодействия на подошву;
- давления массы воды на дно водохранилища.

Под совокупным влиянием этих *нагрузок*, а также изменений температурного состояния бетона возникают деформации самой плотины и ее основания, следствием чего являются изменения пространственного положения плотины, т. е. перемещения.

При *натурных исследованиях* измеряются составляющие общих перемещений:

- линейные (вертикальные и горизонтальные);
- угловые (наклоны).

*Вертикальная* составляющая общих перемещений состоит из:

- осадки плотины, вследствие деформирования основания;
- изменений вертикальных размеров секций из-за увеличения или уменьшения в них температуры бетона, его веса и веса воды.

*Горизонтальные перемещения* плотины обусловлены гидростатической нагрузкой, температурными изменениями и неравномерной осадкой. *Осадки и перемещения* сооружений являются следствием неустойчивости и неоднородности грунтов оснований, что приводит к неравномерному оседанию отдельных элементов сооружений. Осадки имеют место практически

на всех сооружениях, однако они должны из года в год уменьшаться. Поэтому, если происходит резкое оседание сооружения или осадка постепенно увеличивается, то это означает опасное состояние сооружения, требующее принятия срочных мер.

Наблюдения за осадкой и перемещением сооружений производят периодически:

- в пусковой период 1–2 раза в месяц;
- в последующий период 1–2 раза в год.

*Осадку сооружений* устанавливают с помощью нивелирования контрольных реперов (марок), при этом среднеквадратическая ошибка не должна превышать  $\pm 1$  и  $\pm 2$  мм.

Наблюдения за осадками бетонных сооружений позволяют оценить их состояние путем сопоставления осадок с проектными и наметить мероприятия по их прекращению.

Марки бетонных сооружений могут быть поверхностными, стенными, глубинными временными, постоянными, строительными.

*Поверхностная марка*, служащая для установки на нее мерной рейки и определения отметки, размещается на закрепленном в бетон фланце или цилиндре. Их размещают на всех секциях береговых устоев и плотины, что позволяет оценить осадку сооружения в пространстве, т. е. в направлениях оси сооружения и движения потока. На высоких плотинах на скальном основании марки заделывают в бетон низовой грани, ближайшей к основанию незатапливаемой смотровой галереи и по одной мерке располагают у ее краев.

*Стенную марку* можно применять в качестве реперов для различных сооружений и устанавливают на консоли швеллера, заделанного в бетонную поверхность.

*Глубинную марку* устанавливают для измерения деформаций основания под бетонными сооружения или фундаментальными плитами водосливных плотин. Несколько установленных глубинных марок на границе различных слоев грунта основания позволяют оценить значение и причины осадок бетонного сооружения.

Осадки плотин, имеющих галереи со стабильной температурой, измеряют гидростатическим нивелиром.

Тригонометрическое нивелирование позволяет определить превышены одной марки относительно другой при измерении угла наклона и расстоянии от прибора до мерки.

*Полная осадка* гидротехнического сооружения состоит из первичной и вторичной осадки сооружения:

$$S_n = S_1 + S_2 = S_1 \frac{29 \cdot \varphi_r^2}{c} \cdot h \Delta \rho, \quad (4.1)$$

где  $S_1$  – первичная осадка скелета пород;

$S_2$  – вторичная осадка за счет ползучести скелета пород;

$\varphi_r$  – содержание глинистых частиц в общем гранулометрическом составе пород;

$c$  – суммарная концентрация катионов ( $Na$ ,  $K$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ ) глинистых частиц в поровой воде г.ион/л;

$h$  – мощность слагаемых глинистых грунтов, м;

$\Delta \rho$  – разность давления на породы основания в строительный и начальный периоды, Мпа.

В период возведения плотины наблюдения за осадками проводят не реже 2 раз в месяц, в период наполнения водохранилища ежедневно, в первые годы эксплуатации – 2 раза в год, в последующие годы в процессе затухания осадков – 1 раз в год.

Относительные *горизонтальные перемещения* бетонных плотин определяют с помощью прямых и обратных отвесов.

Прямой отвес размещают в вертикальных шахтах или специально смонтированных трубах. Число прямых отвесов определяется для каждой плотины в зависимости от высоты сооружения и геологии.

*Перемещения* измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях с помощью координатомера. С помощью обратного отвеса определяют перемещение гребня плотины относительно заданной точки основания. Установив несколько обратных отвесов на разной глубине основания, определяют глубину его активной зоны.



Часто предусматривают устройство прямых и обратных отвесов рисунок 4.1.

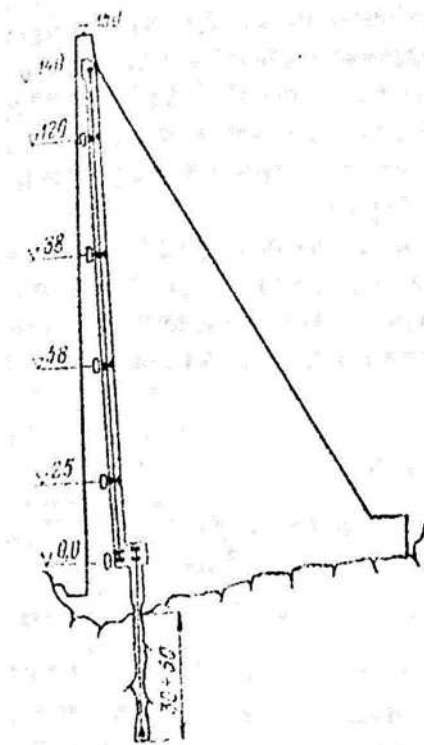


Рисунок 4.1 – Совместное использование прямых и обратных отвесов

*Наклоны гидротехнических сооружений* или их элементов определяют с помощью геометрического нивелирования марок, которые располагают на напорной или низовой гранях сооружения. Для измерения угла наклона вертикальных поверхностей применяют инклинометры, уклонометры.

Трещины на элементах гидротехнических сооружений возникают вследствие неравномерных осадок, напряжений от внешних нагрузок, температурно-усадочных явлений. За трещинами наблюдают с целью анализа причин взаимных перемещений элементов плотин, оценки прочности сооружения и выявления состояния арматуры.

При оценке состояния трещины используют: маяки из гипса, алебастра, цементного раствора, стекла. Оценка состояния трещины заключается в следующем: если по истечении определенного времени в месте ее расположения на маяке не образуется трещина, следовательно, она не развивается, и наоборот.

*Тип маяка и способ его установки* выбирают в зависимости от местоположения трещины, имеющегося материала и ответственности сооружения. Место для установки маяка тщательно очищают от пыли и грязи, продувают сжатым воздухом и промывают водой. На маяке или поблизости от него наносят порядковый номер и дату его установки.

При наблюдениях за *трещинами* используются и более сложные конструкции маяков, которые являются промежуточными между простыми маяками и щелемерами. Таким *маяком* является конструкция И. М. Литвинова, которая дает возможность получить качественные и количественные показатели развития трещин.

На ответственных сооружениях I–III класса капитальности или элементах наблюдения ведут с помощью закладных или накладных щелемеров, которые имеют различную конструкцию (одноосные, плоскостные и пространственные).

В местах недоступных для открытого наблюдения, не ближе 1,5–2 м от наружной поверхности устанавливают дистанционные закладные щелемеры и телетензометры.

*Щелемеры* устанавливаются с помощью шаблона, который затем снимают и по прошествии 7–10 сут берут нулевой отсчет. В начальный период образования трещины наблюдения проводят ежедневно. По мере ее стабилизации или в первый год эксплуатации наблюдения проводят 1 раз в 7–10 сут. После трех лет эксплуатации наблюдения осуществляют 1 раз в месяц. При записи показания щелемеров необходимо измерять температуру воздуха или воды, если щелемер находится ниже ее уровня [33].

*Бетонная или железобетонная монолитная облицовка должна быть разрезана температурно-осадочными или температурно-деформационными швами в соответствии с конструктивно-технологическими картами. Расстояние между швами зависит от толщины облицовки, что видно из таблицы 4.1.*

Таблица 4.1 – Расстояние между швами

Толщина облицовки, м	Расстояние между швами, м
0,10–0,15	3–4
0,15–0,20	4–6

*Прочность бетонных и железобетонных сооружений определяют следующими способами, которые разделяют на две основные группы: разрушающие и неразрушающие. Разрушающие способы трудоемки, сложны и не всегда приемлемы, так как могут привести к уменьшению прочности сооружения. К неразрушающим способам относят: ультразвуковой, резонансный, поверхностной волны, радиационно-нейтронный, гамма-излучения, электромагнитный.*

При толщине конструкции до 15 м применяют *ультразвуковой способ* с использованием приборов: УКБ-1; УКБ-1М; Кварц-6; ИНТ-М2; УК-16П и др. Ультразвуковой способ основан на прохождении сигнала через исследуемый объект, его отражении и затухании. При толщине конструкции до 30 м используют *ударный способ* контроля качества бетона. С помощью приборов определяют внутренние дефекты в бетоне и оценивают его качества; толщину бетонных конструкций и металлических; скрытые трещины и значения напряжений в сварных металлических частях бетонных сооружений. Для определения *поверхностной прочности* сооружений применяют способы пластических деформаций с помощью дискового прибора Губбера ДПГ-4, эталонного молотка Кашкарова, Физделя, строительно-монтажные пистолеты СМП-1, КМ и др. При работе с дисковым прибором ДПГ-4 *прочность бетона определяют по зависимости:*

$$R = \frac{AH}{(l^3 a)}, \quad (4.2)$$

где  $A$  – эмпирический коэффициент, принимаемый для вертикальных поверхностей бетона равным 4850 кг/см; для горизонтальных – 5600 кг/см;

$H$  – высота падения диска, определяемая по зависимости  $H = \sin\varphi \cdot l$ ;

$\varphi$  = угол поворота стержня прибора;

$l$  – длина отпечатка, см;

$a$  – расстояние от центра диска до втулки, равное 25 см.

*Разрушающий способ* заключается в выбуривании бетонного образца и дальнейшего его испытания на прочность в лабораторных условиях согласно ГОСТу «Бетон гидротехнический». Методы испытания бетона». После отбора образца восстанавливают монолитность бетонного сооружения, с этой целью скважины мест взятия образца бетонируют.

*Напряженно-деформированное* состояние сооружений характеризуется следующими параметрами: напряжением и деформацией; раскрытием межблочных, межсекционных швов, трещин; усилиями в арматуре; температурой бетона и основания; поровым давлением в бетоне; основными нагрузками и воздействиями на плотину (уровни, температура и т. д.).

*Напряжения измеряют* с помощью тензометрического способа и закладных датчиков. Тензометрический способ заключается в определении с помощью тензометров относительных деформаций бетона и вычисления по ним напряжений.

Для телеизмерений статических относительных деформаций бетонная, скалы и металлоконструкций сооружений служит преобразователь линейных деформаций струнный ПЛДС.

*Деформации железобетонных конструкций*, а также усилия в элементах статически неопределимых конструкций определяются методами строительной механики с учетом трещин и неупругих свойств бетона.

При сложных статически неопределимых системах допускается определять перемещения по формулам сопротивления материалов.

*Наблюдения* за состоянием сооружения выполняют со следующей периодичностью: во время строительства в первые сутки после установки преобразователей и перекрытия их бетоном через 4 ч; в течение последующих двух суток – через 8 ч; в течение первого месяца – ежедневно; затем до конца третьего месяца – 2 раза в неделю; в дальнейшем – 1 раз в 7–10 сут. В начальный период эксплуатации наблюдения проводят 1 раз в 10–15 сут, а в дальнейшем после стабилизации явлений, происходящих в бетоне – 1 раз в месяц.

*Наблюдения за фильтрацией* через бетонные сооружения дают возможность оценивать трещиноватость и пористость бетона, его выщелачивании фильтрующей водой, качестве швов, работе уплотнений.

Незначительные фильтрационные расходы измеряют с помощью наложения на очаг фильтрации щита с влагопоглощающим материалом. Взвешивая щит до и после его наложения за определенное время определяют расход профильтровавшейся воды.

При значительном процессе фильтрации *расход воды* измеряют объемным способом. С этой целью фильтрат отводят с помощью канавок и мерный сосуд, замер объема профильтровавшейся воды осуществляют до 10 мин. Скорость фильтрации определяют путем: пуска краски или химических соединений в скважины.

*Противодавление на подошву плотины* контролируют путем измерения пьезометрических уровней в характерных точках подземного контура. С этой целью располагают точечные пьезометры вблизи контакта плотины с основанием. В скальных основаниях бурят наклонные скважины из цементационной или специальной галереи по обе стороны цементационной завесы. Пьезометры по обе стороны дренажных галерей располагают вертикально. В многослойном основании устраивают

кусты глубинных пьезометров по обе стороны завесы в каждом характерном геологическом слое.

В зависимости от *типа плотины*, геологии основания, конфигурации подземного контура и других факторов, принимают определенную схему размещения КИА для фильтрационных наблюдений, возможные варианты ее размещения приведены на рисунках 4.2 и 4.3.

В бетонных *плотинах* измеряют *фильтрационные* расходы через тело и основание сооружения. Полученные данные измерений характеризуют эффективность работы дренажных систем, водопроницаемость пород основания и напорной грани плотины, фильтрационных режимах, обусловленных изменением уровней воды в бьефах, суффозионных процессах.

*Измерение расходов* осуществляют с помощью следующих методов: объемный, мерный, водосливами, гидрометрическими вертушками, расходомерами.

При *фильтрационных процессах* может возникать коррозия бетона и, соответственно, снижение прочностных свойств бетона в результате возникновения химических реакций на его поверхности и внутри его. На характер коррозии влияют следующие показатели: состав бетона, температура, агрессивность среды (вода, воздуха и т. п.), скорость обмена среды у поверхности градиента напора воды, плотности бетона, напряженного его состояния. Очагами коррозии являются участки со слабым его уплотнением, где происходит выщелачивание гидроксиды кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Вода, которая обладает гидрокарбонатной жесткостью, способствует уплотнению поверхностного слоя бетона.

Наличие ионов  $\text{Ca}^{2+}$  в фильтрате свидетельствует о растворении известки и выносе ее из бетона. Увеличение в фильтрате ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  характеризует процесс образования кристаллов гипса, которые разрушают бетон. Химический анализ проб воды с целью установления ее агрессивности проводят в лабораториях по стандартным методикам 1 раз в 2–3 года. При повышении агрессивности воды анализ проводят ежегодно.

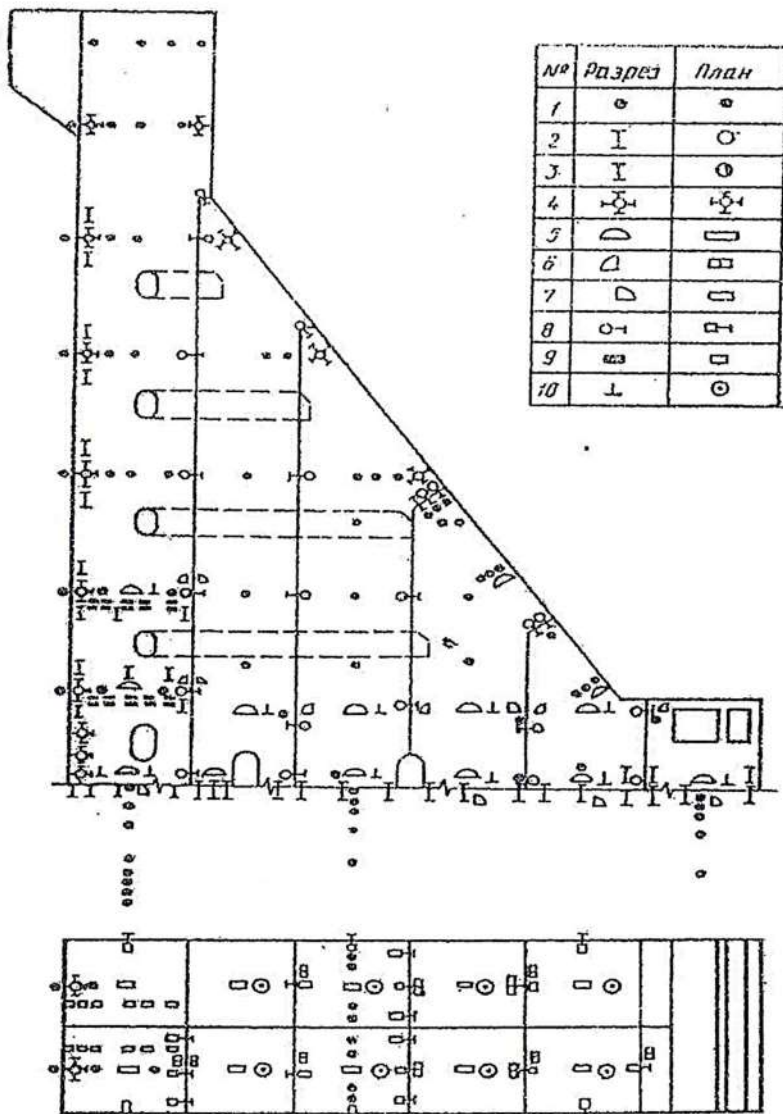


Рисунок 4.2 – Схема размещения КИА в плотине Усть-Илимской ГЭС (проект):  
 1 – термометр; 2 – одиночный тензометр; 3 – то же в шве; 4 – три взаимно-перпендикулярных тензометра; 5 – веерообразная розетка с тензометром, перпендикулярным к ее плоскости; 6 – прямоугольная розетка; 7 – то же в скале; 8 – телешелемер; 9 – пьезодинамометр; 10 – датчик напряжений

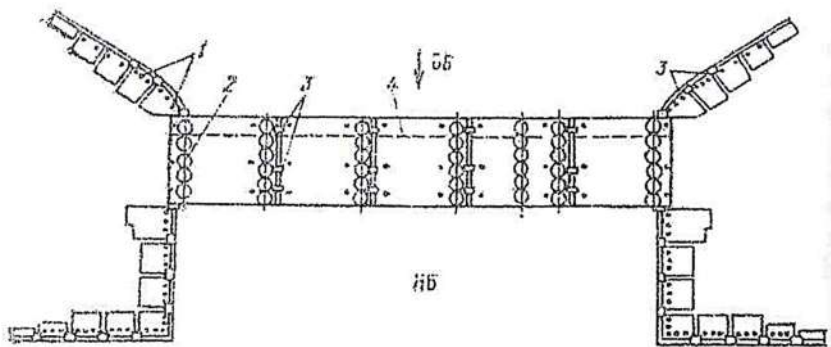


Рисунок 4.3 – Схема расположения КИА на секциях и береговых устоях водопропускного сооружения на нескальном основании:

1 – высотные марки; 2 – пьезометры; 3 – шелемеры; 4 – ось шпунта

#### 4.4 Анализ состояния сооружения поданным наблюдений

*Анализ результатов натурных наблюдений* является основой для оценки фактического поведения и состояния сооружений, выявления факторов и воздействий, не учитываемых в расчетах, а также для составления обобщенных выводов. *Результаты наблюдений*, исследований оформляют и сопоставляют с расчетными величинами или ранее полученными. В виде графиков показывают: изменение во времени уровней воды в верхнем и нижнем бьефах; осадки сооружений во время строительства и эксплуатации, эпюры смещений и углов наклона секций сооружений и др.

*Изменения контролируемых величин* подразделяются на закономерные, обусловленные периодическими изменениями основных нагрузок и воздействий и предусмотренные проектом, а также на аномальные, не предусмотренные проектом или прогрессирующие во времени. Оценку характера наблюдающихся *изменений* производят путем сопоставления графиков изменения величины за ряд лет с одинаковыми условиями эксплуатации. *Причиной деформаций* секций бетонных сооружений может быть нарушение работы основания. В этом случае проверяют геологическое строение основания. В условиях залегания



водонестойких включений в *основании* может возникнуть химическая суффозия, подвижка скального массива по поверхности тектонического разлома, карстовые или предоползневые явления [33].

*Смещение верхней части сооружения*, в сторону наибольших усилий свидетельствует о следующем: сдвиге бетонного массива по неустойчивому основанию; наклоне, появляющемся при неравномерной осадке основания, изгибе элементов сооружения. *Горизонтальные смещения* отдельных секций могут возникнуть при наличии участков оснований с низкими сдвиговыми характеристиками.

*Смещение гребня* плотины определяют на основе анализа показаний отвесов. При равномерных перемещениях по всей высоте – возможно смещение основания или сооружения по контакту бетон-скала. Если перемещения увеличиваются пропорционально высоте плотины, то возможен наклон сооружения. При изгибе сооружения изменение перемещения элементов носит криволинейный характер.

В условиях эксплуатации сооружения устанавливают *зависимость перемещений* от температурных условий (при постоянном напоре и развитых температурных воздействиях). Зная перемещения можно определить напряжения.

*Анализ данных* по раскрытию швов, трещин необходимо увязывать с воздействием на сооружения температуры, равномерных и неравномерных *осадок*. Во время строительства до окончания экзотермических процессов в *раскрытии швов* и трещин не наблюдается четкой закономерности. После их завершения наибольшее раскрытие швов происходит в начале второй половины теплого периода времени года. Другие отклонения от этой закономерности свидетельствуют о иных причинах деформаций, перемещения частей сооружения, обуславливающих раскрытие или закрытие швов. Неравномерные осадки основания вдоль оси плотины изменяют раскрытие швов.

Раскрытие трещин анализируют во взаимосвязи с температурным воздействием и фильтрацией через шов: в холодное время

года трещины (швы) раскрываются больше и интенсивность фильтрации через них повышается, а теплое время – наоборот.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы цель и задачи натурных наблюдений?
2. Каковы цель и характеристика визуальных наблюдений?
3. Перечислить виды трещин, возникающих на элементах гидротехнических сооружений.
4. Охарактеризовать очаги фильтрации через бетонную облицовку.
5. Какие разделы разрабатывают в проекте по натурным наблюдениям?
6. Назначение, конструкция и место расположения высотных марок бетонных сооружений.
7. Назначение и принцип действия прямого и обратного отвесов.
8. Назначения и способы установки маяков для наблюдения за трещинами.
9. Какие нагрузки, действующие на плотину, обуславливают ее деформацию и основания?
10. Каким образом оценивают осадку сооружения?
11. С помощью каких приборов, приспособлений определяют осадку?
12. Каким образом определяют горизонтальные перемещения сооружения?
13. С помощью каких приборов определяют наклоны сооружений?
14. Назначение и способы установки маяков для наблюдения за трещинами.
15. Какими способами определяют прочность бетона?
16. Охарактеризовать методы контроля прочности бетона.
17. Каким образом определяют напряженно-деформированное состояние бетонных сооружений и их оснований?
18. Какие способы определения фильтрации через бетон?
19. В чем заключается обработка данных наблюдений и анализ состояния массивных сооружений?

## ТЕМА 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИИ

### 5.1 Организация работ по контролю состояния водопроводящих сооружений

*Состояние сооружений* контролируется в соответствии с СНиП 2.06.01-86, СНиП 2.06-09-84, РД 34.20.501-95 и ТИ 34-70-016-82 для каждого конкретного объекта, с учетом класса сооружений по проведению натурой- наблюдений и первичному анализу их результатов.

В *состав работ* по контролю состояния водопроводящих сооружений входят следующие наблюдения и исследования:

- измерение скоростей течения, определение расхода воды;
- определение уровней воды;
- изучение изменения связи уровней и расходов воды;
- наблюдения за гидравлическим режимом;
- геодезические и гидрометрические съемки рельефа дна и берегов на участке местных деформаций русла;
- осмотр обтекаемых потоком поверхностей по всей трассе сооружений, включая подводный участок;
- подводное обследование находящихся под водой участков сооружений;
- изменение осредненной и пульсационной составляющих давления;
- фиксация аэрации потока в пределах сооружения;
- оценка кавитационной и абразивной эрозии поврежденных бетонных поверхностей;
- наблюдения за образованием наледей в пределах сооружений с фиксацией их нарастания в течение морозного периода;
- наблюдения за состоянием ледяного покрова на подходе к водосбросу и на участке энергогасящих сооружений (водобойные колодцы различных типов).

*Определение расходов воды* необходимо для установления пропускной способности сооружения; фиксация уровней воды, позволяет строить фактические кривые связи расходов и уровней, судить об эксплуатационном режиме сооружения.

*Измерение уровней и скоростей течения* проводятся для сопоставления фактического режима с запроектированным и корректировки режима работы сооружения.

*Наблюдения за гидравлическим режимом* необходимы для того, чтобы установить его отклонения от предусмотренного проектом. Отклонения свидетельствуют о каких-то существенных изменениях в состоянии сооружения или нижнего бьефа, или о нарушении правил эксплуатации.

*Геодезические и гидрометрические* съемки русла и берегов производятся для оценки их переформирований и сопоставления с прогнозируемыми, корректировки прогноза и разработки мероприятий, улучшающих эксплуатационный режим сооружения.

Осмотр сооружений (надводный, подводный) до и после пропуска паводков позволяет выявить наличие значительных вывалов скалы и повреждений бетонных поверхностей. При этом осуществляют общую оценку динамики процесса повреждений.

Подводное обследование может своевременно установить наличие повреждений или подмывов, угрожающих целостности и устойчивости концевых участков сооружений [33].

*Измерение, осредненной и пульсационной* составляющих гидродинамического давления позволяет оценить: потери напора; нагрузки на обтекаемые поверхности; осредненный уровневый режим.

*Изменение концентрации воздуха* в потоке у обтекаемых поверхностей необходимы для оценки надежности мероприятий, предпринятых для предотвращения кавитационной эрозии.

*Наблюдения за состоянием ледяного покрова* на подходе к водосбросу необходимы для организации пропуска льда через водосбросные сооружения.

*Наблюдения за наледями* производятся для своевременного принятия мер, предупреждающих опасные последствия их образования (силовое воздействие на конструкцию; заполнение водопроводящего тракта к моменту, когда он необходим для сброса паводковых расходов).

Для *контроля работы водопроводящих сооружений* используют специальную КИА, предназначенной для предупреждения возникновения опасных ситуаций и получения натуральных данных, необходимых для обеспечения надежности и безопасности эксплуатации сооружений.

Для *контроля кавитации* в зонах возможного понижения давления устанавливают датчики давления и датчики аэрации.

*Положение уровней воды* водопроводящего тракта контролируют на водопостах, снабженных уровнемерами.

Для фиксации *состояния водной поверхности* концевых устройств используют фототеодолитную съемку, которую также применяют и для оценки переформирования русла и берегов в зоне местного размыва.

Данные об измерительных приборах приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Измерительные приборы

№ п/п	Вид наблюдения или измеряемая величина	Прибор	Тип прибора	Диапазон измерения, разрешающая способность $\epsilon$ , рабочая полоса частот, приведенная относительная погрешность
1	2	3	4	5
1	Уровень воды	Самописец уровня длительного действия. Ультразвуковой уровнемер*. Преобразователь уровня измерительный струнный*	ГР-38 ЭУС-ИУВ ПУВС	До 6,0 м $\epsilon = \pm 0,01$ м  0–10 м $\gamma = \pm 0,02$ %  0–10 м $\gamma = \pm 1,0$ %

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5
2	Осредненный пьезометрический напор (давление) воды и воздуха (вакуум)	Пьезометр Пьезометр-вакуумметр Преобразователь давления измерительный струнный прецизионный Пружинистый манометр	– – ПДС-Н-0,1 –	$\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа); $\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа); 0–0,1 мПа, $\gamma = \pm 0,06$ %; $\varepsilon \leq 0,1$ м (1 кПа)
3	Осредненный и пульсационный пьезометрический напор (давление)	Измеритель осредненного пьезометрического напора (давления) Измеритель пьезометрического напора (индуктивный датчик давления)	ОПТ-С ДД-10 ДД-20	0–100 м $\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа); 0–2,9 мПа, $\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа); в диапазонах частот 0–1000 Гц, 0–10000 Гц**; 0÷6,9 мПа, $\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа); в диапазонах частот 0–1000 Гц, 0–10000 Гц**
4	Осредненный пьезометрический напор (давление) на площадке	Измеритель осредненного и пульсационного напора (давление) на площадке	ОПП-С	0–30 м $\varepsilon = \pm 0,04$ м (0,4 кПа); 0–150 м $\varepsilon = \pm 0,1$ м (1 кПа);
5	Кавитационное излучение	Ультразвуковой шумомер	ДУЗ	10–500 кГц
6	Кавитационный и абразивный износ	Дистанционный измеритель эрозии металла	ДЭМ	0,5–30 м с шагом от 0,5 до 4 мм
7	Скорость течения воды и содержание в потоке воздуха	Измеритель скорости и содержания воздуха в пристенном слое	ИСА-7	Скорость $\varepsilon = \pm 0,1$ м/с, аэрация $\gamma = \pm 5$ %

При наблюдении за водосбросными с высокоскоростными потоками изучают процесс взаимосвязи потока с элементами водосброса и сооружения в целом, обращая внимание на гидродинамику, гидравлику, кавитацию, вибрацию. Наблюдения на водосбросах проводят в период эксплуатации с помощью КИА.

Для определения гидродинамического давления на элементы водосбросов используют датчики осредненного давления и пульсации в точке.

Установление кавитационных условий на водосбросных сооружениях осуществляют с помощью преобразователей для ультразвукового изучения кавитационной эрозии, гидродинамического давления, пульсационной и осредненной скорости.

Общие кавитационные зоны могут возникать на входных оголовках водосливных поверхностях, отдельных быках, участках поворотов водоводов и т. д.

Для установления скорости распределения упругих волн в основании гидротехнических сооружений вибропреобразователи монтируют на ряде соседних секций, размещая их в средней части каждой секции.

Оценка характеристики воздействия потока на элементы водосброса предусматривает периодические наблюдения состояния водной поверхности, величин и направления скоростей в плане и по глубине потока.

Примерный перечень рекомендуемых натуральных исследований, проводимых на водопропускных гидротехнических сооружениях, приведен в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Перечень рекомендуемых натуральных исследований на водопропускных гидротехнических сооружениях

Объект	Натурные исследования		
	эксплуатационные	специальные	пусковые
1	2	3	4
Водосливная плотина			
Гребень, затворный узел	11	1, 2, 3, 4, 5, 11	1, 2, 11

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
Водосливная грань	11	1, 2, 3, 10, 11	2, 11
Участок сопряжения с нижним бьефом	3, 11	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11	1, 2, 4, 11
Быки	3, 11	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11	1, 2, 4, 5, 11
Туннельный водовод			
Входной оголовок	3	1, 2, 3, 4	1, 2
Затворный узел	3, 4, 11	1, 2, 3, 4, 5, 11	1, 2, 4, 11
Облицовка	3, 6, 11	1, 2, 3, 4, 5, 6, 11	1, 2, 5, 6
Поворотные и диффузорные участки	3, 11, 6	1, 2, 3, 4, 6, 10, 11	1, 2, 6
Концевой участок	3, 4, 11	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11	1, 2
Шахтный водосброс			
Водоприемник	11	1, 3, 4, 11	1, 4, 11
Вертикальный ствол	3, 11	1, 2, 3, 10, 11	1, 2, 11
Поворотный участок	3, 11	1, 2, 3, 10, 11	1, 2, 11
Водоотводящий участок	3, 11	1, 2, 3, 4, 10, 11	1, 2, 11
Быстроток			
Водоприемник	33	1, 2, 3, 4, 11	1, 4, 11
Водоскат	3, 11	1, 2, 3, 10, 11	1, 2, 4, 11
Концевой участок	3, 4, 11	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11	1, 2, 4, 5, 11
Нижний бьеф			
Водобой	2, 3, 4, 8, 11	1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 11	1, 2, 4, 5, 8, 11
Гасители энергии потока	2, 3, 11	1, 2, 3, 4, 5, 10, 11	1, 2, 11
Рисберма	3, 7, 8, 11	7, 8, 9, 11	7, 8, 11
Неукрепленное русло, берега	7, 11	7, 9, 11	7, 11
Обозначение цифр: 1 – гидродинамическое давление (осредненное и пульсационная составляющая); 2 – кавитация; 3 – эрозия; 4 – вибрация; 5 – динамические деформации и напряжения; 6 – контакт облицовки со стенкой водовода; 7 – размыв дни и берегов нижнего бьефа; 8 – подмыв под сооружение; 9 – растекание потока в плане, скорости по глубине потока; 10 – аэрация потока; 11 – визуальные наблюдения гидравлического режима, состояния обтекаемой потоком поверхности, затворов, решеток.			



При проведении инструментальных наблюдений фиксируется ряд параметров, характеризующих гидравлические условия их работы. По этим параметрам составляются диагностические признаки, приводимые в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Гидравлические параметры работы водосбросных сооружений

Фиксируемые параметры	Диагностические признаки
Уровни (положение пьезометрической линии) и расходы воды	Коэффициент расхода и кривая пропускной способности сооружения Кривая связи расходов и уровней воды в нижнем бьефе; степень затопления гидравлического прыжка
Гидродинамическое давление	Вероятность достижения значения, соответствующего давлению парообразования, а, следовательно, возможность возникновения кавитации; значения нагрузок на элементы сооружения и соотношения их преобладающих частот с частотами собственных колебаний рассматриваемого элемента (в конечном итоге экстремальные значения напряжений)
Колебания уровней воды	Экстремальные значения уровней воды
Пьезометрические напоры и распределение скоростей	Параметр кавитации рассматриваемых элементов или неровностей
Уровень ультразвукового шума при кавитации	Экстремальный уровень кавитационного шума
Глубина кавитационной или абразивной эрозии	Допускаемая глубина эрозии
Содержание воздуха в пристенном слое потока воды	Содержание воздуха в пристенном слое, позволяющее предотвратить кавитационные явления
Расход (скорость) воздуха в аэрационных устройствах	Необходимое количество воздуха, предотвращающее кавитацию; допускаемые скорости течения воздуха в аэрационных устройствах
Глубина размыва непосредственно за низовым концом крепления	Допускаемая глубина размыва

По совокупности диагностических признаков на основе данных измерений оценивается состояние сооружений, определяемое гидравлическими критериями надежности, проведенными в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Гидравлические критерии надежности водосброса

Условия надежности	Диагностируемое состояние	Диагностические признаки (параметры)	Критерии надежности
1	2	3	4
Превышение гребня плотины над уровнем верхнего бьефа	Пропускная способность	Расчетные значения коэффициента расхода, кривая пропускной способности	Расчетный и поверочный расходы при проектных отметках УВБ
Прочность	Напряженное состояние (статические или динамические нагрузки)	Экстремальные значения напряжений, эпюры их распределения (экстремальные значения гидродинамических нагрузок)	Предельные значения напряжений в контролируемых точках (предельные значения нагрузок)
Устойчивость	Подмыв низового конца сооружения	Глубина размыва	Предельная допустимая глубина размыва
Допустимые режимы течения	Колебания уровня воды, наполнение. Затопление гидравлического прыжка	Экстремальные значения уровней воды и наполнения. Уровень воды в нижнем бьефе	Предельные (максимальные и минимальные) значения уровней воды и наполнения. Вторая сопряженная глубина [12–14]
Долговечность	Начало кавитации	Экстремальный уровень ультразвукового шума	Повышение уровня ультразвукового шума

Продолжение таблицы 5.4

1	2	3	4
Долговечность	Кавитация	Экстремальное значение осредненного или мгновенного вакуума	Допустимое значение осредненного или мгновенного вакуума
	Кавитация и кавитационная эрозия	Характерные пьезометрические напоры и скорости вблизи рассматриваемого элемента (параметры кавитационной эрозии)	Критические параметры кавитации и кавитационной эрозии
	Кавитационная эрозия	Содержание воздуха в пристенном слое потока воды	Необходимое содержание воздуха в пристенном слое
	Кавитационная эрозия	Время работы рассматриваемой зоны при мгновенном пьезометрическом напоре, соответствующем давлению парообразования	Допустимое время работы при давлении парообразования по сравнению с инкубационным периодом
	Кавитационная или абразивная эрозия	Максимальная глубина эрозии	Допустимая глубина эрозии

Основные этапы оценки *надежности сооружения* могут быть представлены в следующем виде:

- получение фиксируемых параметров;
- выбор диагностических признаков;
- определение состояния водосбросных трактов;
- выбор критериев надежности;
- сопоставление параметров состояния с критерием надежности;
- заключение о надежности безопасности водосбросных трактов.

При обработке данных натуральных наблюдений строятся графики, карты, зависимости изменения осредненных параметров во времени [33].

## 5.2 Виды ледовых образований, методы борьбы с ними

При возникновении отрицательных температур воздуха в реке могут возникать различные *ледовые образования*: шуга, донный лед, забереги, ледостав. Характер образований зависит от температуры воздуха, воды и ее скорости глубин потока, конфигурации ложа русла и продуктов отложений на ее поверхности.

*Шуга* представляет собой частицы ледяных игл, горошин, пластов комьев и других образований, которые образуются в потоке при охлаждении воды до температуры минус 0,02...0,05 °С, иногда до минус 0,1 °С.

*Донный лед* – это внутриводный лед, появляющийся на дне водотока, которое может быть покрыто камнями, валунами и другими образованиями.

*Забереги* – неподвижный лед, расположенный у берегов и скрепленный с ними.

*Ледостав* – установление и существование на водоемах и водотоках неподвижного ледяного состава.

*Ледяной покров* возникает, как правило, при скоростях менее 0,8–1,0 м/с, а при более низких температурах воздуха ниже 1–1,5 м/с.

Перечисленные выше ледовые явления образуют заторы, зажоры льда.

*Затор* – скопление и нагромождение льда в русле, дополнительно стесняющие живое сечение, что впоследствии приводит к повышению уровней воды в месте скопления. При этом подплывающие льдины увлекаются потоком под остановившиеся, или выталкиваются на них, образуя торосы.

*Зажор* – скопление шуги и других образований внутриводного льда в русле реки, стесняющее живое сечение потока и приводящее к подпору, снижению пропускной способности

русла или отверстия водопропускного сооружения. Зажоры имеют значительную длину и возникают в результате остановки плывущих шутовых ковров и их смерзания. Остановка этих образований обуславливается механической задержкой, которая возникает при крутых поворотах русла, наличия островов, мостов и других препятствий или значительным уменьшением скоростей потока.

Внутриводный лед перемещается под формирующийся зазор, который может перекрывать площадь живого сечения потока до 70–85 %. В этом случае, в сформированной зоне появляется дополнительный подпор. Рассматривая с гидравлической точки зрения затор – это местное гидравлическое сопротивление (внезапное сужение) с местным перепадом уровней, а зазор - участок водовода с повышенным сопротивлением и потерей напора по длине. Часто заторо- и зазорообразование оказывают взаимное влияние. Зажоры, как правило, образуются осенью в период ледостава, иногда весной, а заторы возникают весной в период ледохода. Сформировавшиеся заторы и зажоры могут повышать значительно уровни воды, что при определенных условиях вызывает появление наводнений, переливов воды через гребень ограждающих дамб, а также оказывать значительные статические и динамические воздействия на элементы гидротехнических сооружений. Так, при обмерзании решеток водопропускных отверстий, пропускная способность снижается до 50–60 %, а иногда они могут перекрываться полностью.

Для борьбы с различными ледовыми образованиями проводят эксплуатационные мероприятия, направленные на обеспечение движения потока, без возникновения негативных последствий.

Чтобы наметить технические мероприятия по борьбе с ледовыми образованиями осуществляют следующее: заблаговременно определяют и изучают места их образований; к которым относятся участки реки, на которых меняется от большего к меньшему уклон и снижаются скорости потока, шуги, льда. Заторы возникают также в естественных руслах, представленных

узкими горловинами. Технические средства для борьбы с образовавшимися заторами, зажорами применяют в зависимости от конкретных условий в отдельности или вместе в различном сочетании. Так при создании каскада гидротехнических сооружений практически ликвидируется заторо- и зажорообразование. На небольших гидроузлах для предупреждения образования заторов, в районе кривой подпора с помощью ледоколов создают вдоль водохранилища канал, по которому, поступающий с вышележащего участка лед транспортируется к водосбросной плотине и сбрасывается в нижний бьеф. Совместное сочетание работы ледокол с надлежащим маневрированием затворами водосбросной плотины обеспечивает необходимые условия освобождения от ледовых образований. Такие мероприятия необходимо проводить 3–4 раза в сутки. На крупных гидроузлах могут устраиваться акватории, которые могут принимать лед с вышележащих участков реки.

Для обеспечения транспорта льда на реках, проводят русловыправительные работы. При проектировании трассы для транспорта льда и шут создают прямолинейные или плавно изгибающиеся участки. На поворотах водотока устраивают уширения, позволяющие транспортировать лед без заторов. При необходимости делают сооружения для задержания льда (кусты, свай, полузапруды) рисунок 5.1. При выполнении русловыправительных работ стремятся к образованию однорукавного русла.

*Возникновения заторов* предупреждает регулирование стока льда путем воздействия на процесс вскрытия реки: ослабление и разрушение льда или наоборот, усиление ледяного покрова. Таким способом варьируют временем возникновения ледохода на различных участках. Ослабление льда проводят на участках возможного образования заторов: при малых глубинах для ослабления льда применяют ледорезные машины. Для вскрытия реки или оперативной ликвидации заторов используют способ бомбометания с воздушно-технических средств. Взрывы осуществляют против течения сериями, для

того, чтобы оторвавшиеся льдины могли перемещаться вниз по течению.

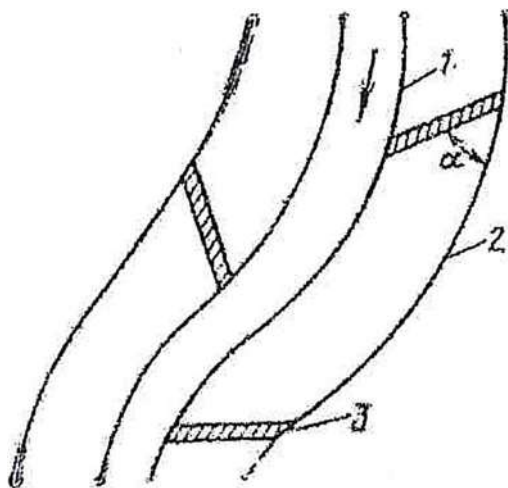


Рисунок 5.1 – Расположение полузапруд на Дубоссарском водохранилище для борьбы с заторообразованием:

- 1 – меженный уровень; 2 – максимальный уровень при заторе;  
3 – полузапруды

Массу заряда определяют по следующей формуле:

$$Q = k \cdot \omega^3, \quad (5.1)$$

где  $k$  – удельный расход взрывчатых веществ (0,3–1,5 кг/м<sup>3</sup>);  
 $\omega$  – расчетная линия сопротивления, принимаемая равной глубине погружения снаряда в воду, м.

*Ослабление льда* осуществляют с помощью применения опыления его зачерняющим материалом (уголь, сажа и др.). В этом случае отражательная способность льда, снега снижается до 10–15 % по сравнению со свежеснегавшим снегом, когда степень отражения солнечной радиации достигает 90 %. Наиболее эффективен порошок черного цвета, имеющий диаметр частиц 0,2–0,5 мм. Крупные частицы размером 0,5–1 мм остаются на поверхности льда и не обладают проникающей способностью. Норму расхода зачерняющих материалов определяют по следующей зависимости:

$$n = \gamma \cdot d, \quad (5.2)$$

где  $\gamma$  – средняя плотность зачерняющего материала  
( $\gamma = 1-1,4$ ) · 10<sup>6</sup> г/м<sup>3</sup>;

$d$  – диаметр частиц загрязняющего материала, м.

На 1 га площади требуется 0,5–5 т зачерняющего материала.

В местах, где требуется замедлить время вскрытия реки, проводят искусственное усиление ледяного покрова. Для этой цели с его поверхности зимой удаляют снег и намораживают лед. При необходимости его усиливают заанкериванием в берега путем вмораживания тросов, бревен, свай.

Для борьбы с зажорами применяют следующие методы: гидравлический, термический и механический.

Гидравлический предусматривает создание таких скоростей потока, при которых шуга не образуется ( $\leq 0,4-0,5$  м/с). Такие методы осуществляют путем устройства водоподпорных сооружений, выправительных работ, создания поперечной циркуляции.

*Термические* - заключаются в возможном внесении в поток дополнительного тепла. В нижнем бьефе следят за тем, чтобы шуга уходила дальше от гидроузла, в противном случае ее перемещают механическим путем с применением плавсредств, иногда (ограниченно) взрывным способом.

### **5.3 Пропуск льда, шуги, плавающих тел через суженные русла**

*Ледоход* образуется при скоростях движения потока более 0,4–0,5 м/с. Ему способствуют сильные продолжительные ветры, направленные в сторону плотины.

Для сброса льда из верхнего в нижний бьеф гидроузла используют, водосливные отверстия плотины, дойные отверстия, береговые и другие водосбросы. На подходе к сооружению русло и отводящий канал должны иметь прямой участок без сооружений, препятствующих движению. Лед сбрасывается через отверстия, расположенные в пределах стержня



реки или у вогнутого берега при изгибе реки, так как скорость потока в этом месте повышенная, что способствует смещению льда в эту зону.

Отверстия должны быть одинаковых размеров во избежание заторов перед отверстиями с меньшей пропускной способностью. Повышенный режим сопряжения бьефов позволяет пропускать лед без повреждения крепления русла, гасителей энергии и крепления концевой участка. В период пропуска льда маневрировать затворами отверстий запрещается, так как возможно возникновение аварии затворов. В противном случае проводят мероприятия, направленные на исключение аварии затворов: усиление их прочности, уменьшение скорости, размеров и прочности льдин, подходящих к пролетам.

Сооружения, расположенные в зоне пропуска льда должны возвышаться над уровнем воды на 3–5 м во избежание нагромождения льда и образования затора. В период эксплуатации гидроузла стремятся возможно дольше задержать лед в водохранилище, чтобы его ослабить при повышении температуры.

*Пропуск льда* через открытые отверстия или гребенки бетонных плотин зависит: от ширины отдельных отверстий, общей ширины ледобросного фронта, формы оголовков быков, максимального выдвижения разделительных быков в сторону верхнего бьефа, глубины воды, средств защиты элементов сооружения от разрушения их льдинами.

При уклонах свободной поверхности на входе в суженное русло свыше 0,007 льдины размерами вдоль потока 50 м и более разрушаются на отдельные полосы размером (м) не более:

$$a_z = 44\sqrt{t_i \cdot Rd}, \quad (5.3)$$

где  $t_i$  – толщина льда, м;  
 $Rd$  – временное сопротивление льда на изгиб  
( $Rd = 0,45$  МПа).

Ширина открытого отверстия  $b_o$ , используемого для сброса льда должна быть не менее  $0,75 a_z$ , тогда отверстие способно пропускать льдины при их скоростях подхода к пролетам  $U_i = 2,5-6$  м/с и средних размерах  $(1-1,5) a_z$ .

При скоростях движения воды менее  $0,3-0,35$  м/с лед не сбрасывают, а оставляют в водохранилище, где он тает. В случае, если отверстия не соответствуют приведенным выше условиям, лед подвергают дроблению.

Лед не рекомендуется пропускать через отверстия с быками, ширина которых равна или больше  $0,6$  ширины водопропускного отверстия, так как возможно возникновение заторов перед быками.

Благоприятный пропуск льда наблюдается через водосбросные отверстия, быки которых выдвинуты в сторону верхнего бьефа не более чем на  $1,5 H$ , где  $H$  – напор на гребне. Глубина потока на ледосбросных отверстиях с низким порогом составляет  $4-5$  м. На водосбросных плотинах для сброса льда чаще всего используют отверстия шириной более  $10-12$  м [33].

При пропуске льда через сооружения с донными глубинными отверстиями рассчитывают их предельное затопление  $H_k$  из условия недопущения подныривания льда и соблюдения сроков задержки льда перед сооружениями.

Для низконапорных бетонных плотин высотой  $5-15$  м, работающих без образования вихревых воронок на входе, используют зависимости:

– для одиночных отверстий

$$H_i \geq 3.8\sqrt{h_b}; \quad (5.4)$$

– для спаренных отверстий

$$H_i \geq 5.0\sqrt{h_b}; \quad (5.5)$$

где  $h_k$  – высота донного отверстия.

В случае, при образовании перед отверстиями интенсивных вихревых воронок степень затопления отверстия увеличивают в  $1,5$  раза. По условиям прочности бетонных плотин ширина донных отверстий, используемых при пропуске льда не

должна превышать 50 % расстояния между сквозными температурно-осадочными швами для плотин высотой более 70 м и 60 % – для плотин до 70 м.

Для снижения прочности льда ледоход рекомендуется задерживать на 5–7 сут со дня вскрытия реки в нижнем бьефе. С этой целью сооружают запони или используют аккумулирующие емкости.

*Скорость потока*, при которой обеспечивается подвижка льда в реке, для прямоугольного очертания берегов перед водосбросом, на участке длиной 15 В определяется по зависимости:

$$U_m \geq 4.25 \sqrt{\frac{t_i \cdot Rd}{B}}, \quad (5.6)$$

где  $t_i$  – толщина льда, м;  
 $Rd$  – временное сопротивление льда на изгиб;  
 $Rd \approx 0,45$  МПа;  
 $B$  – ширина русла, м.

При наличии порога перед гидроузлом среднюю предельную скорость  $U_m$  увеличивают на 30 %.

Для задержки льда, шуги, мусора в водохранилище на гидроузлах используют запони. Критическую скорость потока  $U_{cr}$ , при которой лед начинает подныривать под запонь, рекомендуется рассчитывать по зависимости:

$$U_{cr} = \sqrt{0.035 \cdot g \cdot l_i}, \quad (5.7)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;  
 $l_i$  – длина льдины.

Запони, которые служат для сброса шуги, плавающего мусора располагают под углом к сооружению, прикрепив одним концом к берегу, а другим к быку отверстия, снабженного устройством для сброса мусора в нижний бьеф (козырьком, клапаном, опускающимся затвором). Их устанавливают в местах с пониженными скоростями.

Если задержанные запонью плавающие предметы не сбрасываются через специальные отверстия или мусоропровод, то их извлекают с помощью багров или других приспособлений.

При образовании вихревых воронок у отверстий, пропускающих воду в нижний бьеф, мелкий мусор перемещают к воронкам для удаления его гидравлическим способом.

При ограниченном сбросе воды в нижний бьеф, мусор сбрасывают периодически по мере его накопления с помощью кратковременного открытия отверстий, предназначенных для этой цели.

Крупные плавающие тела могут забивать отверстия или причинять механические повреждения элементам сооружений. Их извлекают или пропускают через отверстия при полностью открытом затворе, увязывая со схемой маневрирования затворами. В условиях каскада водоподпорных сооружений мусор и другие плавающие тела рекомендуется не сбрасывать, а вылавливать механическими средствами.

Во время эксплуатации русла должны обеспечивать пропуск: льда, шуги, плавающих тел без заторов, зажоров; иметь необходимую пропускную способность паводковых вод; быть устойчивыми, т. е. не допускать значительных размывов и заилиения; иметь допускаемые скорости и глубины потока; позволять забирать воду с минимальным количеством наносов.

Благоприятный пропуск шуги, льда обеспечивается в русла с плавно очерченными берегами и радиусом закругления более 4–5 ширин водотока, без уступов, узких горловин, резких вертикальных изломов.

Повышение пропускной способности русла достигают: удалением из русла и поймы древесины, кустарника; очисткой русла от камней, коряг и др. предметов, создающих препятствия или повышенную шероховатость; срезкой различного рода выступов в русле, обеспечением плавных поворотов путем выполнения выправительных работ; спрямлением речных излучин; выполнением дноуглубительных работ.

## 5.4 Наблюдения за размывами, ледоходом, порядок маневрирования затворами

В период эксплуатации водопропускных сооружений нижний бьеф их обследуют не реже 1 раза в год и после паводка, при этом снимают рельеф воронки местного размыва.

*Наблюдения* проводят с плавсредств или путем подводно-технических обследований.

С этой целью измеряют глубины воды в воронке размыва по отдельным створам, расположенным через 5–10 м. На каждом створе замеры проводят ориентировочно через 10 м в характерных точках. С этой целью используют: рейки, шесты, лоты, профилографы, ультразвуковые эхолоты. Эхолоты применяют при глубине от 0,2–20 м. Замеры записываются на ленту самописца. После замеров глубин определяют абсолютные отметки и строят горизонтали воронки размыва, по которым судят о состоянии местных деформаций русла в нижнем бьефе. Следует обращать внимание на места сопряжения русла с элементами крепления, так как здесь зачастую возникают локальные ямы размыва, подмывы бетонных плит, деформации каменного или другого гибкого крепления.

Полученные данные в горизонталях элемента размыва сопоставляют их с условиями деформации русла в предыдущие годы, устанавливают состояние воронки размыва: дальнейшее развитие процесса размыва, его затухание или замыв русла. Полученную воронку размыва сравнивают с прогнозируемой на модели или по существующим зависимостям. Такие данные позволяют оценить состояние нижнего бьефа и наметить мероприятия по защите сооружения от опасных подмывов и разрушения его крепления: закрепление русла, маневрирование затворами.

Подводно-техническое обследование осуществляют водолазы по следующим способам: линейному, зигзагообразному, радиальному. При линейном способе зону обследования ограждают вехами, буйками и разбивают на полосы шириной 3–10 м, которые обозначают уложенными на дно тросами.

Осматривая состояние дна, крепления или грунтового русла он передает информацию или проводит подводную фотосъемку.

Зигзагообразный способ перемещения является разновидностью линейного и применяется при обследовании больших площадей.

Радиальный способ применяют на небольших участках. Для этой цели спускают в заданную точку груз, который фиксируют на плавсредствах и, закрепив за груз веревку водолаз перемещается на расстояние радиусов обследований, перемещается по кругу исследует рассматриваемый участок.

В нижнем бьефе ответственных сооружений в зоне местного размыва могут устанавливаться в специальных шурфах преобразователи размыва рисунок 5.2.

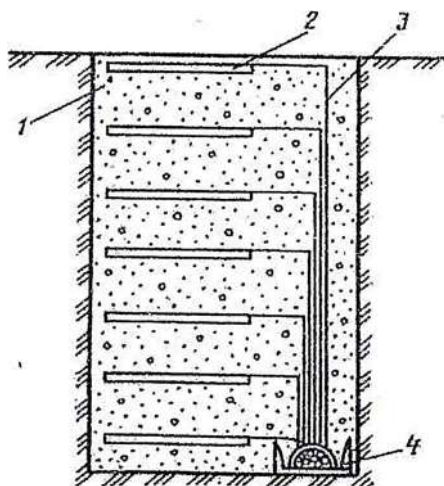


Рисунок 5.2 – Схема размещения первичных преобразователей размыва:  
1 – шурф с заполнителем, подбираемый по сопротивляемости размыву;  
2 – преобразователь; 3 – электрический кабель; 4 – кабельный лоток, заливаемый битумом

Как правило, их делают в конце бетонного крепления, чтобы получать своевременную информацию о его подмыве. Возникновение кавитации и возможность появления кавитационной эрозии могут быть установлены на основе измерений

осредненных или мгновенных значений пьезометрических напоров, зафиксированных пьезометрами или датчиками давлений.

Кавитационная эрозия может возникнуть, если параметр (число, коэффициент) кавитации ( $K$ ) меньше коэффициента начала кавитационной эрозии ( $K_{кр.э}$ ):

$$K = \frac{P_{хар.} - P_{кр.}}{\frac{\rho v_{хар.}^2}{2}} = \frac{H_{хар.} - H_{кр.}}{\frac{v_{хар.}^2}{2g}} < K_{кр.э} \approx 0,85 K_{кр.} \quad (5.8)$$

где  $P_{хар.} = \lambda H_{хар.}$  – характерное абсолютное давление вблизи обтекаемого элемента;

$P_{кр.}$  и  $H_{кр.}$  – абсолютное давление и пьезометрический напор, соответствующие давлению водяных паров;

$v_{хар.}$  – характерная скорость течения вблизи обтекаемого участка поверхности;

$K_{кр.}$  – критический параметр кавитации для различных элементов или форм неровностей бетонной поверхности;

$\rho$  – плотность воды;

$g$  – ускорение свободного падения.

Содержание воздуха в пристенных слоях потока около 5–10 % свидетельствует о надежной защите поверхности от кавитационной эрозии.

Контроль за кавитационной эрозией может осуществляться с помощью специальных датчиков эрозии.

По результатам визуального, водолазного обследования сооружений составляются карты и абрисы кавитационных, абразивных и прочих повреждений, подмыва и разрушений участка креплений.

Анализ изменения кривой связи расходов и уровней в нижнем бьефе и сочетании с топографической съемкой участка местного размыва позволяют уточнить проектный прогноз русловых переформирований, вносить необходимые коррективы в правила эксплуатации гидроузла, а также при необходимости наметить ремонтные мероприятия.

Порядок *маневрирования затворами водосбросной плотины* зависит от: расходов, сбрасываемых в нижний бьеф; конструкции затворов; специфики работы гидротехнических сооружений, примыкающих к водосбросной плотине; задач, решаемых путем пропуска воды через пролеты; конструктивных особенностей плотины и ее нижнего бьефа; состоянии крепления нижнего бьефа; конфигурации отводящего русла [33].

При сбросе в нижний бьеф небольших расходов открывают один или несколько пролетов, в первую очередь приоткрывают средние пролеты, если это допустимо схемой маневрирования затворами.

При сбросе больших расходов открывают большее число отверстий, рассредоточенных равномерно по всей ширине водосливного фронта.

Конструкция затвора определяет режим его работы: при оборудовании затвора клапаном небольшие расходы, мусор, плавающие тела, пропускают путем опускания клапана.

Маневрирование затворами зависит от гидравлических условий сооружений, которые примыкают к водосбросной плотине.

Пролеты, расположенные у водозаборного сооружения, при значительном количестве наносов в реке следует держать в закрытом состоянии, чтобы скорости потока у входа в водозаборное сооружение были небольшими и не размучивали наносы, которые движутся в придонной области.

Для удаления отложившихся наносов, открывают пролеты, примыкающие к водозабору.

При маневрировании затворами следует стремиться к сбросу расхода равномерно по всему фронту. При этом гидравлические и гидродинамические характеристики потока, его размывающая способность во время сброса расхода не должны превышать их расчетных значений. Гак как могут возникать сбойные течения с повышенными гидродинамическими нагрузками и размывающей способностью.



Равномерное распределение удельных расходов по ширине водотока возможно при сбросе воды через водослив, устроенный без разделительных быков. На водосбросах с промежуточными быками коэффициент неравномерности распределения удельных расходов составляет

$$K_n = 1,2-1,5,$$

где  $K_n$  – отношение максимального удельного расхода к осредненному, поэтому при неравномерном открытии пролетов он значительно увеличивается.

У рыбопропускного сооружения пролеты плотины открывают таким образом, чтобы на входе в рыбоход обеспечивался шлейф с привлекающими скоростями.

В условиях нарастания паводка, для обеспечения равномерности сброса воды затворы открывают последовательно, равномерно ступенями начиная от средних пролетов плотины, передвигаясь к берегам. Высоту каждой ступени поднятия затвора назначают в каждом конкретном случае:

– для крупных водосбросных плотин ее принимают от 0,5 до 1 м;

– для мелких – 0,2–0,5 м. На спаде паводка затворы закрывают в обратном порядке.

При сбросе льда, плавающих тел, когда необходимо полностью открывать пролеты плотины режим маневрирования затворами следующий: степень поднятия затворов определяется напором перед затвором, поэтому при водоходе затворы поднимают до (0,2–0,3) Н, а затем при необходимости отверстие пролета открывают полностью. Следует учитывать, что при больших открытиях может возникать неустойчивый режим потока, который сопровождается повышенными динамическими нагрузками и вибрацией затворов. Поэтому открытие пролетов чередуют через смежный пролет, открытый частично. В этом случае коэффициент неравномерности распределения удельных расходов достигает

$$K_n = \frac{q_n}{q_{0.4}} = 1,5-1,8,$$

где  $q_n$  и  $q_{0.4}$  – удельные расходы в нижнем бьефе при пролете, открытом полностью и на  $0,4 H$ .

В случае, когда до открытия всех пролетов на  $(0,2-0,3) H$  лед в водохранилище успевае т растаять или находится в рыхлом состоянии, т. е. его движение не представляет опасности через отверстия приоткрытого затвора, продолжают открывать отверстия до  $(0,4-0,5) H$ .

Большие открытия затворов могут вызывать неустойчивый режим потока, которые сопровождаются повышенными динамическими нагрузками, вибраций затворов, поэтому такой режим не следует допускать.

В соответствии со СНиП 2.06.01-81 при пропуске поверочного расхода через все водопропускные сооружения допускаются отклонения от нормальной работы любого другого водопропускного сооружения, входящего в состав гидроузла. Расходы разрешается пропускать через все отверстия напорного фронта. При этом могут возникать сбойные течения, большие размывы на нижнем бьефе водосбросных сооружений, не угрожающие разрушением основным сооружениям.

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризовать состав работ по контролю за состоянием водопроводящих сооружений.
2. По каким диагностическим признакам оценивается состояние сооружений?
3. Охарактеризовать условия ледовых образований.
4. Какие методы борьбы с ледовыми образованиями применяют в эксплуатационных условиях?
5. Особенности пропуска льда, шуги, плавающих тел через водопропускные отверстия.
6. Гидравлические условия пропуска ледовых образований.
7. Какие наблюдения проводя за сооружениями с высокоскоростными потоками?

## ТЕМА 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДПЕРТЫХ БЬЕФОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАИЛЕНИЮ И ЗАРАСТАНИЮ

### 6.1 Условия заиления бьефов

Причинами занесения бьефов водозаборных узлов, построенных на реках со значительным количеством наносов – 4–6 кг/м<sup>3</sup> и более являются:

- ослабление транспортирующей способности потока в результате подпора и уменьшения скоростей потока;
- незначительный объем водохранилища для аккумуляции наносов;
- недостаточный учет переформирования русла в бьефах при компоновке узла, вызывающий изменение динамической оси потока;
- высокий процент забора воды.

Различают наносы взвешенные и донные.

*Взвешенные наносы* представляют собой мелкие частицы разрушенных горных пород (глину, песок), переносимые потоком во взвешенном состоянии.

*Донные крупные наносы* представляют собой обломки горных пород (камни, галька, валуны), которые перемещаются перекатыванием по дну.

Движение наносов происходит во время весеннего половодья или при паводках, вызываемых дождями, таянием льдов на ледниках в горах.

Подпор, создаваемый плотинами, резко меняет условия потока. Глубины возрастают, вследствие чего скорости течения уменьшаются. Уклон поверхности воды в пределах подпертого участка резко снижается и нормальная бытовая величина достигается лишь на некотором расстоянии от водохранилища.

Все это приводит к уменьшению способности потока перемещать наносы, они оседают на дно и происходит заиление.

*Интенсивность заиления* зависит от: количества и размеров наносов, емкости водохранилища и его глубины, формы водоема в плане и величины транзитного расхода.

Водохранилище большой емкости, обеспечивающее задержание значительной части стока весеннего паводка, способно задержать все наносы приносимые рекой. Водохранилища сучточного регулирования или подпертый бьеф, образованный невысокой подпорной плотиной, уже после нескольких лет эксплуатации может достигнуть предельного состояния по заилению и большую часть наносов будет пропускать транзитом при пропуске избыточного паводкового расхода.

Эксплуатация гидроузлов показывает, что при проектировании следует учитывать последующие переформирования русел верхнего и нижнего бьефов плотин. Занесение верхнего и нижнего бьефов в связи с этим блуждание потока затрудняет водозабор.

Гидротехнические узлы, функционирующие на предгорных участках рек, транспортирующих значительное количество взвешенных и дойных наносов, резко изменяет формы русла.

В *верхнем бьефе* гидроузла первоначально происходит *заиление взвешенными* и в дальнейшем *занесение его донными наносами*. В нижнем бьефе, непосредственно за сооружением *наблюдается местный размыв* и общие размывы на значительной длине русла.

Такие деформации русла влекут за собой подъем уровня воды в верхнем (бьефе), а в связи с размывом русла в нижнем бьефе понижается уровень воды.

В условиях низконапорных гидроузлов (с напором 3–4 м) верхний бьеф заносится в течение 2–3 лет и в таких условиях заилением бьефа за счет извешенных наносов можно пренебречь. Верхний бьеф таких гидроузлов имеет малый объем, а кривая подпора распространяется до 500–1000 м; скорости потока в верхнем бьефе мало отличаются от бытовых. Бьеф заносится, и основном донными наносами, перемещение которых имеет неуставленный, характер (форма движущейся гряды, увеличивающийся по мере приближения к плотине). Гряда наносов создает дополнительный подпор на вышележащем

участке русла за счет разности уклонов водной поверхности незанесенного наносами участка верхнего бьефа и поверхности гряды. Этот дополнительный подпор задерживает часть наносов и приводит к дальнейшему подъему дна [33].

Таким образом, чем дальше к плотине продвигается гряда, тем больше объем отложений и медленнее движение гряды наносов. После занесения *основного объема верхнего бьефа* гидравлический режим приближается к бытовому режиму реки и *устанавливается транзит наносов в нижний бьеф*.

В гидроузлах с напором 6–8 м создаются благоприятные условия полезных объемов в верхнем бьефе для суточного регулирования стока и аккумуляции наносов. В этом случае процесс переформирования русла происходит значительно дольше, чем на гидроузлах с напором 3–4 м. Основной объем бьефов заполняется наносами в течение 5–6 лет.

*Процесс переформирования* происходит следующим образом. Первые годы эксплуатации *верхний бьеф* при *малых подходных скоростях* работает как источник и *заиливается взвешенными наносами*, донные лее наносы задерживаются в самом начале бьефа, в месте выклинивания кривой подпора. Длина кривой подпора распространяется на 3–4 км. С этого места начинается грядовое движение донных наносов по направлению течения к плотине. В дальнейшем занесение происходит аналогично процессу низконапорных гидроузлов.

После заиления и занесения верхнего бьефа *наносы* интенсивно поступают в *нижний бьеф*. Из-за значительного забора воды без наносов поток в нижнем бьефе не имеет достаточной транспортирующей способности и наносы откладываются в нижнем бьефе вблизи плотины. За счет твердых частиц, вымываемых потоком их воронки размыва, непосредственно за воронкой размыва образуется отмель, которая увеличивается за счет наносов, поступающих из верхнего бьефа. Вследствие подъема дна в этом месте горизонт нижнего бьефа поднимается и влияет на пропускную способность отверстий плотины.

Таким образом, занесение верхнего и нижнего бьефов затрудняет эксплуатацию гидроузлов.

Динамика заиления верхних бьефов такова: наносы интенсивно откладываются в первые годы эксплуатации.

*Улучшение работы условий работы узла сооружений* заключается в *периодической промывке участка верхнего бьефа* со снижением уровня воды на плотине, при этом создаются скорости течения, превышающие критические, что способствует быстрому смыву верхнего бьефа на значительную длину.

Таким образом, *основными причинами занесения бьефов гидроузлов и ухудшения условий эксплуатации* являются:

- создание подпора и ослабление транспортирующей способности потока;
- недостаточный объем чаши верхнего бьефа для аккумуляции наносов;
- высокий процент водозабора в одном месте без наносов;
- отсутствие постоянного учета последующего перестроения русла в бьефах плотины и изменения динамической оси потока при компоновке гидроузлов;
- неправильная эксплуатация узла и непринятие своевременных мер по устранению дефектов на сооружениях.

## **6.2 Эксплуатационные условия проведения промывок бьефов**

Нормальная работа гидроузлов обеспечивается при учете следующих условий:

- поддержание проектных максимальных горизонтов, для создания условий задержания донных наносов в пределах выклинивания кривой подпора;
- в период эксплуатации строго соблюдать порядок маневрирования щитами сбросных и промывных отверстий в увязке с режимом реки;
- длительность промыва не должна быть больше той, при которой смывается основная масса наносов вблизи сооружений;

- оптимальный промывной расход следует принимать
- $(1,5-2) Q_{\text{ср год}}$ ;
- в условиях блуждания потока в широком подводящем русле верхнего бьефа, в последней стадии занесения и при занесенном нижнем бьефе промывной расход составляет  $(1-1,5) Q_{\text{ср год}}$ ;
- промыв верхнего и нижнего бьефов зависит от степени снижения подпертого горизонта, манипуляции затворами промывных отверстий узла сооружений (от распределения погонного расхода по фронту сооружений);
- если в верхнем бьефе процесс занесения продолжается, и полный транзит наносов в нижний бьеф не поступил, снижение горизонта для промыва в пике паводка, нецелесообразно, так как могут ухудшиться условия подхода к частям сооружений узла, в этом случае промыв осуществляют при спаде паводка, когда влечение наносов в реке незначительное;
- если гидроузлы расположены на горных, предгорных участках рек, поддерживают высокие горизонты верхнего бьефа с первого момента эксплуатации гидроузла (при низком рабочем горизонте происходит быстрое занесение объема верхнего бьефа и последующий переход на высокие горизонты ускоряет занесение остальной части водоема);
- в период прохождения паводковых расходов в верхнем бьефе необходимо поддерживать наивысший горизонт (для ослабления продвижения крупных наносов);
- в гидроузлах, расположенных в низовьях рек (с легкоразмываемыми песчаными наносами, расположении плотины и водоприемных сооружений в одну линию) поддерживают следующие горизонты: в паводковый период низкие горизонты в верхнем бьефе, осенне-зимний период – наивысшие для осаждения донных и придонных песчаных наносов.

При проведении промывки следует учитывать *состояние гидроузла, гидрологического режима реки, состояния водозабора* и других факторов, которые отражены в следующих положениях:

– при промывке верхних бьефов устанавливают состояние гидроузла (занесение верхнего и нижнего бьефов);

– количество промывок зависит от гидрологического режима реки (не менее двух раз в год, увязывая количество промывов с пиками гидрографа);

– в верхних бьефах водозаборных узлов (гидравлический режим которых приблизился к бытовым условиям реки со значительным подъемом дна вверх по течению) максимальный горизонт поддерживать не обязательно и организуют промыв наносов в период паводка;

– при высоком проценте водозабора в одном месте и 100 % сбросе наносов в нижний бьеф в низконапорных плотинах происходит занесение плотины, поэтому нижний бьеф промывают в пик паводка с полным отключением водоприемника;

– верхние бьефы плотины ферганского типа эффективно промываются в период прохождения паводка;

– промыв верхних и нижних бьефов, водозаборных узлов в условиях полного занесения можно проводить при полном снижении горизонтов, промывные расходы должны проходить по сбросным отверстиям свободно.

*Режим уровней* зависит от степени занесения бьефов, а также от специфических особенностей узла в целом. Промывку верхнего бьефа водозаборных узлов с напором 3–7 м и порогом на средней отметке дна реки проводят с первых лет эксплуатации узла, на горных и предгорных гидроузлах с начала эксплуатации поддерживают высокие уровни верхнего бьефа. При уровнях ниже проектных, крупные наносы с верхних участков бьефа подтягиваются непосредственно к сооружениям узла, последующий переход на повышенные уровни способствует занесению верхнего бьефа.

Во время паводка уровни в верхнем бьефе поднимают на максимально возможные отметки с тем, чтобы продвижение наносов к створу гидроузла было медленным.

Для *предотвращения заноса верхнего бьефа* водозаборных узлов фронтального типа поддерживают уровни низкие с



наступлением паводка и высокие в осенне-зимний период. Нарушение этих условий приводит к переформированию верхнего бьефа и образованию протоков, островов из наносов, песчаных отмелей или быстрому перемещению основной гряды наносов к створу водозаборного узла.

*Режим промывки* определяется условиями занесения бьефов водозаборного узла. Число промывок зависит от гидрологического режима реки и коэффициента водозабора. Промывку верхнего бьефа на реке следует осуществлять не реже двух раз в год, увязывая время промывок с пиками гидрографа. В условиях, когда произошло значительное поднятие дна верхнего бьефа и режим потока приблизился к бытовым условиям, паводок пропускают при низких уровнях, что позволяет промыть верхний бьеф.

При высоком коэффициенте водозабора в одном створе, сбросе за сооружением большого количества наносов и значительных расходов воды заносится нижний бьеф. Наносы, которые в нем отложились, поднявшие уровни и снизившие перепад на гидроузле, смывают в период паводка с прекращением подачи воды в водоприемник.

*Верхние бьефы с поперечной циркуляцией* промывают во время паводка. И условиях значительного занесения бьефов промывку осуществляют во время паводка при полном снижении уровня и полностью открытых отверстиях с равномерными удельными расходами по всему водосбросному фронту. При этом подачу воды в водоприемник по возможности прекращают, если нельзя отключить водоприемник и соответственно полностью снизить уровни воды в верхнем бьефе, то промывку проводят при снижении уровня на половину напора или более (при  $H = 5-7$  м).

На подъеме паводка смывают наносы, отложившиеся во время меженного периода, а на спаде паводка – наносы, отложившиеся во время половодья.

*Водозаборные узлы* промывают в следующей последовательности: прежде нижний бьеф с максимальными удельными

расходами и сосредоточенным сбросом воды через средние отверстия плотины при высоких уровнях верхнего бьефа, а затем верхний бьеф полностью открытых всех пролетов плотины с образованием кривой спада. Во время больших паводков иногда целесообразно промывать верхний и нижний бьефы одновременно.

*Промывной расход* и *длительность промывки* принимают по аналогии или по расчету, а затем уточняют в процессе эксплуатации водозаборного узла путем проведения опытных промывок. При этом необходимо обеспечить бурное течение потока с большими скоростями, которое способно разрушить отмели и транспортировать наносы.

Промывной расход для рек с небольшими среднегодовыми расходами  $Q_{cp\ год}$  назначают равным (3–4)  $Q_{cp\ год}$  и для рек, и с большими среднегодовыми расходами (1–1,5)  $Q_{cp\ год}$ .

Расход, сбрасываемый в нижний бьеф, используют для промывки верхнего бьефа, наилучший эффект достигают при спаде паводка.

Время промывки верхнего бьефа с напором 4–6 принимают 3–4 ч, а с напором 6–7 м – от 6 до 8 ч.

В случае значительного занесения гидроузла промывку осуществляют многократно, периодически поднимая уровни воды в верхнем бьефе и сбрасывая их при полностью открытых отверстиях плотины.

При промывке сначала открывают отверстия промывников, затем отверстия плотины, расположенные вблизи водоприемника. Карманы промывают путем поднятия уровней воды в верхнем бьефе и одновременного открытия отверстий промывников. Водозабор при этом следует отключить, для избежания захвата взмученных наносов. Время промывки составляет 0,5–1 ч. Служба эксплуатации узла должна своевременно получать необходимую информацию от бюро долгосрочных гидропрогнозов, чтобы подготовить узел к промыву верхних и нижний бьефов оптимальным промывным расходом. Она должна составить программу намеченного промыва и способа

его проведения в зависимости от предсказанного бюро информации гидропрогноза количества расхода реки.

### 6.3 Особенности зарастания бьефов

Среди растительных и животных организмов, живущих в воде особенно вредной является группа, которая закрепляется на элементах гидротехнических сооружений, создавая биологическое обрастание. Оно представляет собой комплекс видов микроорганизмов, которые прочно прикрепляются к решеткам, затворам, водоводам и т. д. Плотность биомассы иногда может достигать 20–30 кг/м<sup>2</sup>.

Наиболее часто встречающимся *живым организмом* является *моллюск дрейссены*, раковины которой имеют длину 15–50 мм. Размножается при температуре выше плюс 11 °С путем вымета личинок, которые за 6–10 сут достигают 160–175 мм. Летом в 1 м<sup>3</sup> воды число личинок может достигать 0,1–2 млн. При оптимальных условиях одна самка дрейссены способна в течение сезона отложить более 70 000 яиц.

При низких температурах моллюск консервируется, а при достижении температуры выше плюс 11 °С снова активно развивается. Дрейссена в зависимости от одного из характерных периодов может находиться в стадии планктонного образа жизни, постепенного оседания на твердые субстраты, периоде жизни на твердом субстрате и свободного передвижения на новое место, состоянии постоянного жительства на твердом субстрате с незначительным передвижением и, прочно прикрепившихся раковин к твердому предмету. Срок ее жизни составляет 10–12 лет. *Оптимальными условиями* для ее размножения являются: скорость потока 0,5–0,9 м/с, температура воды 18...25 °С, прозрачность 40–200 см; рН = 7–9, содержание кислорода в воде 8–10 мг/л. Наиболее интенсивно обрастают моллюском горизонтальные плоскости: при *скоростях* до 1 м/с она располагается на них в виде сплошной щетки; а при повышении скорости до 2,5–3,0 м/с перестает существовать; на наклонных

вертикальных предметах развивается при скоростях потока до 0,6 м/с, повышение скорости потока более 1 м/с не способствует условию жизнедеятельности; водопроводные трубы и каналы наиболее интенсивно обрастают моллюском [33].

На *Цимлянском водохранилище* зазоры между стержнями сороудерживающих решеток сужаются за сезон обрастания примерно в 2 *раза*, при этом плотность «дрейссены» *достигает* 12 кг/м<sup>2</sup>. На *затворах* толщина биомассы составляет около 3–5 см, а плотность – 6–8 кг/м<sup>2</sup>, что увеличивает массу затворов, снижает их маневренность. Живое сечение трубопроводов уменьшается до 70–80 % при плотности биомассы до 30 кг/м<sup>2</sup>. В условиях остановки течения погибшая дрейссена в водоводах может затем забивать фильтры механической очистки воды, а также скапливаться в системах водоснабжения.

#### **6.4 Эксплуатационные мероприятия, направленные на борьбу с обрастанием**

Существуют следующие способы защиты от обрастания: механический, химический, термический, физический, физико-химический и биологический.

К *механическим способам* относят удаление дрейссены из водоводов большого диаметра 102 *раза* в год, применение забора дренажного типа.

Поверхность освобожденного водовода очищают скребками, сетчатыми лопатами ершовыми щетками или струей воды под давлением 15–40 МПа. Биомассу доставляют к смотровому колодцу или люку, откуда ее удаляют бадьями, при этом расположение смотровых колодцев в системе водоснабжения составляет 50–100 м. Водозабор дренажного типа основан на использовании стремления личинок обрастателей при небольших скоростях потока двигаться навстречу течению воды, при этом основная их часть уходит от системы водозабора, а оставшаяся – задерживается пористым фильтрующим

слоем, выполненным из песчаного грунта или искусственного материала.

К *химическим способам* относится периодическое хлорирование технической воды, применение противообрастающих лакокрасочных покрытий.

Для хлорирования используют жидкий хлор, соли натрия и кальция. наличие 1–2 мг/л хлора в воде губит личинки в течение 1 часа, а взрослых моллюсков за 3–5 сут. На выходе из системы водоснабжения осуществляют дехлорирование воды 1–2 % раствором гипосульфитом натрия.

Лакокрасочные покрытия используют при защите сорудерживающих решеток, неподвижных сеток водоприемных камер насосных станций, затворов и других элементов гидротехнических сооружений. С этой целью применяют противообрастающие краски, которыми покрывают очищенные, загрунтованные и окрашенные антикоррозийными составами поверхности: ХС-522, ХВ-5153, ХС-79. Для удаления срока службы покрытия используют противообрастающую эмаль КФ-751, которую наносят сверхслояного противообрастающего покрытия, срок службы противообрастающих покрытий составляет 3–5 лет.

*Термические способы* уничтожения моллюсков дрейссены применяют в системах технического водоснабжения ГЭС и ТЭС. При этом трубопровод заполняют водой, подогретой до температуры 40...55 °С на 30–40 мин, а затем его промывают от погибшей дрейссены. Такие операции в течение вегетационного периода делают три раза: в июне, конце августа и в конце сентября.

*Физическими и физико-химическими* способами являются катодная защита, воздействие постоянным электрическим током, обработка воды ультразвуком.

*Катодная защита* применяется на внутренней поверхности водоводов диаметром более 2 м, при этом положительный контакт от источника постоянного тока с помощью изоляторов

соединяют с анодами, которые помещают внутри трубопровода (рисунок 6.1), а отрицательный – с защищаемой металлической поверхностью.

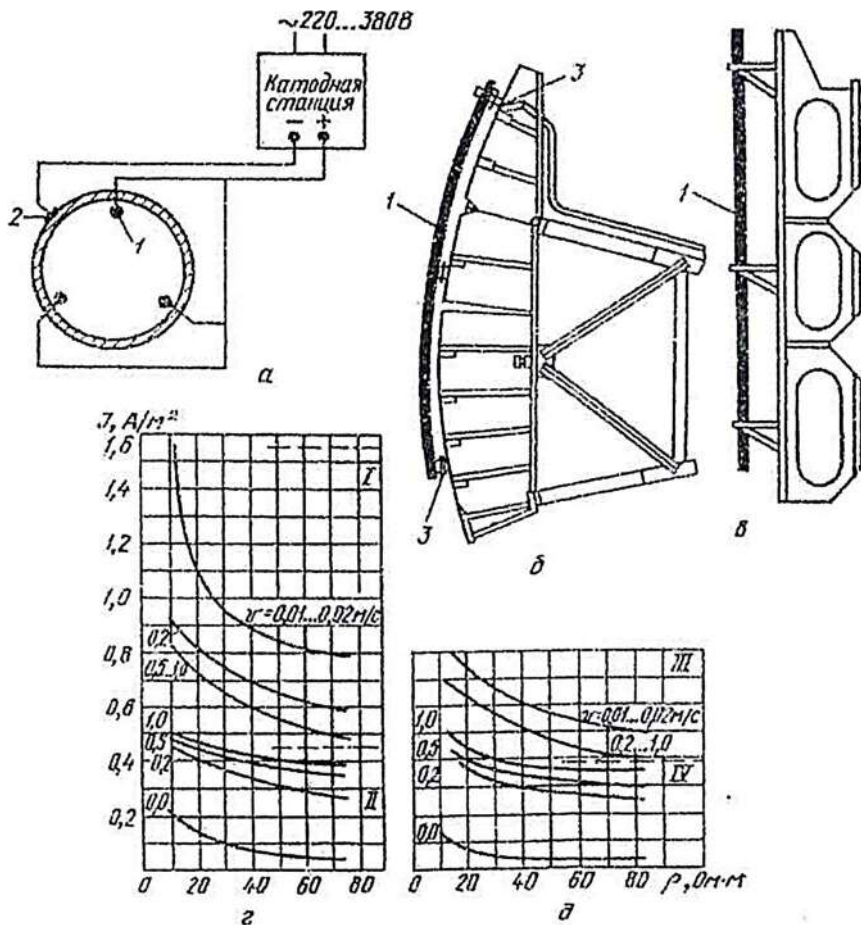


Рисунок 6.1 – Катодная защита:

- а – водовода; б и в – сегментного и плоского затворов; г – диаграмма для выбора защитной плотности тока в начальный период;
- д – установившие значения плотностей тока; 1 – анод; 2 – катод;
- 3 – изолятор; I и III – зоны защитного тока от обрастания в летнее время;
- II и IV – зоны защитного тока от коррозии в зимнее время,
- $\rho$  и  $v$  – удельное электрическое сопротивление и скорость течения воды

Во время эксплуатации катодной защиты необходимо выполнить следующие мероприятия: ежегодно контролировать напряжение и ток в системе; 1 раз в месяц проверять защитный потенциал; устранять неисправности катодной защиты, 1 раз в год осматривать катодную защиту; заменять аноды; профилактику и ремонт с отключением катодной защиты проводят зимой.

*Биологический способ* используют при защите подводных сооружений от обрастания, который заключается в использовании способности различных пород рыб, поедать около 100 экземпляров дрейссены длиной 1–5 мм.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислить причины, обуславливающие заиливание бьефов.
2. Охарактеризовать заиливания бьефов.
3. Указать основные условия, обеспечивающие режим промывки бьефов.
4. Каким образом назначают промывной расход и длительность промывки?
5. В чем заключается биологическое обрастание?
6. Перечислить методы борьбы с биологическим обрастанием.

## ТЕМА 7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЫБОПРОПУСКНЫХ И РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 7.1 Закономерности поведения рыб

В водоемах нашей страны содержится более 250 видов промысловых рыб. *Основными характеристиками* среды обитания и нереста рыб являются следующие: глубина, температура воды, газовое насыщение, состояние покрытия дна растительностью, биологическими условиями, наносным режимом, химическим составом воды, прозрачностью и другими показателями.

Для *ценных пород рыб* (осетр, севрюга, белуга, лососевые и др.) и их нереста необходимо гравелистодресвяное дно, для сазана, леща, судака и другие – травяное (пойма).

Большая часть промысловых рыб идет на нерест в верховья рек, а после этого мальки скатываются вниз по течению к местам постоянного обитания.

*Естественному образу жизни рыб* препятствуют гидротехнические сооружения, что резко ухудшает условия воспроизводства проходных и полупроходных рыб. Запасы рыб снижаются из-за нарушения естественных нерестилищ, гибели молоди в водозаборах, недостаточного объема рыбохозяйственных мероприятий, загрязнения воды, отбора воды на водохозяйственные нужды, травмирование рыб подвижными механизмами, изменение уровней и расходов воды, несовершенства рыбопропускных сооружений и их эксплуатации.

В *целях восстановления и сохранения* рыбных запасов необходимо осуществлять квалифицированные мероприятия по пропуску рыб на нерест через гидроузлы. При этом следует учитывать характерные признаки рыб и условия их миграции. При миграции рыбы ориентируются по рельефу русла, характеру течения, визуально.

Такие породы рыб, как сельдь, лещ и другие мигрируют в поверхностной зоне водного потока, а севрюга, осетр, сом - в придонной зоне. Активное перемещение рыб наблюдается на



участках с интенсивным течением. Водоворотные течения дезориентируют их, и они совершают круговые движения навстречу потоку. В потоках с неравномерными скоростями наблюдаются направленные движения.

В стоячей воде или потоке с равномерными скоростями рыба располагается равномерно. В случае подхода рыб к препятствию (стена, уступ и др.), они перемещаются вдоль него навстречу течения для поиска прохода. Поэтому при эксплуатации ГТС участвуют данные факторы, что и определяется правильное маневрирование затворами плотины для привлечения и пропуска рыб. Для нормального пропуска рыб большое значение имеют пороги скоростей: при значениях 0,15–0,25 м/с многие виды рыб не ощущают движения потока и не ориентируются на него, также существуют скорости потока (сносящие), которые рыба с трудом преодолевает. В соответствии со СНиП 2.06.07-87 оптимальные, привлекающие скорости потока для осетровых пород составляют 0,7–0,12 м/с; для лососевых – 0,9–1,4 м/с, леща сазана и др. – 0,5–0,8 м/с.

Однако, согласно проведенным исследованиям (В. Н. Шкура), произведено уточнение значения оптимальных скоростей потока для прохождения рыб, эти скорости получили следующие значения: осетровые – 0,9–2,0 м/с; сельди – 1,3–1,6 м/с; чехони – 1,3–1,5 м/с; леща – 1,1–1,3 м/с, что обусловлено состоянием водоема, средних скоростей потока в нем, характера распределения удельных расходов в нижнем бьефе, особенностей гидроузла и других факторов.

При проектировании рыбопропускных сооружений базируются на допустимых значениях скоростей водного потока (таблица 7.1) пороговой минимальной скорости течения воды, при которой рыбу сносит потоком, рывковой - наибольшей скорости течения, которую рыба может преодолеть в течение малого промежутка времени.

Таблица 7.1 – Допускаемые скорости потока в рыбопропускных сооружениях для различного вида рыб, м/с

Скорость	Проходные (осетр, севрюга, белуга и др.)				Полупроходные (лещ, судак, сазан, вобла и др.)	
	осетровые		лососевые		взрослые особи	молодь
	взрослые особи	молодь	взрослые особи	молодь		
Пороговая	0,15–0,12	–	0,2–0,25	–	0,15–0,2	–
Сносящая	0,9–1,2	0,15–0,2	1,1–1,6	0,28–0,35	0,9–1,2	0,15–0,25
Рывковая	–	–	1,5–1,7	–	–	–

Согласно вышеперечисленных данных, рекомендуемые нормативными документами, привлекающие скорости должны уточняться в процессе эксплуатации.

## 7.2 Эксплуатационный режим рыбопропускных устройств

Рыбопропускной шлюз (рисунок 7.1) работает циклически с выполнением следующих операций (В. Н. Шкура) [30]:

*I операция* – привлечение рыб.

В этом случае верхней затвор рабочей камеры опущен, клинкет его открыт из условия создания привлекающих скоростей как в самом сооружении, так и в водном пространстве на входе в него. Низовой затвор позволяет обеспечить пропуск расхода с привлекающими скоростями. Ихтиологическая площадка опущена, побудительное устройство с поднятым сетчатым полотном размещено в начале рыбонакопителя.

*II операция* – подтягивание рыб.

В конце периода привлечения клинкет затвора незначительно прикрывают. При этом уменьшается подаваемый расход воды. Рыба стремится перейти в зону с привлекающими скоростями, входит в рыбонакопитель и перемещается по нему к месту расположения клинкетов. Таким образом происходит подтягивание рыб к рабочей камере.

*III операция* – перевод рыб в рабочую камеру.

Полотно побудительного устройства опускают в вертикальное положение и перемещают его к рабочей камере. Вместе с полотном перемещается рыба, зашедшая в рыбонакопитель. Другие механизмы рыбопропускного шлюза, находятся в положении второй операции.

*IV операция* – шлюзование рыбы.

В конце третьей операции при поднятом низовом затворе рабочей камеры побудительное устройство перемещают в рабочую камеру. Низовой затвор и его клинкеты закрывают. С помощью клинкетов верхового затвора наполняют рабочую камеру.

*V операция* – учет, осмотр и отбор рыб на ихтиологической площадке.

В конце наполнения рабочей камеры закрывают клинкеты верхового затвора, побудительное устройство перемещают вплотную к ихтиологической площадке. Рыбы находятся в зоне размещения ихтиологической площадке, которая поднимается на поверхность. Проводят подсчет, осмотр и отбор рыб для мечения.

*VI операция* – вывод рыбы в верхний бьеф.

Полотно ихтиологической площадки опускают на дно рабочей камеры. Поднимают верховой затвор. Побудительное устройство с вертикальным полотном перемещают на начальный участок верхового лотка и тем самым выводят рыбу в верхний бьеф.

*VII операция* – опорожнение рабочей камеры.

Опускают верховой затвор, клинкеты которого открывают на режим привлечения рыб. Низовой затвор по мере опорожнения рабочей камеры поднимают, а побудительное устройство перемещают на низовой участок рыбонакопительного лотка (в исходное положение).

На гидроузле предусмотрена плавучая установка, приведенная на рисунке 7.2 для накопления и транспортировки

рыб, состоящая из самоходного контейнера и плавучего рыбо-накопителя. Во время эксплуатации самоходный контейнер устанавливается с верховой стороны рыбоуловителя.

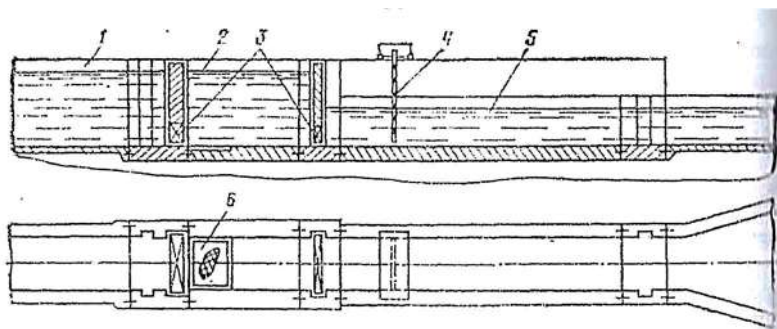


Рисунок 7.1 – Рыбопропускной шлюз:

- 1 – верховой лоток; 2 – рабочая (шлюзовая) камера; 3 – затворы;
- 4 – побудительное устройство; 5 – рыбоуловитель;
- 6 – икhtiологическая площадка

Так как торцы плавучей установки открыты, привлекающий поток пропускается транзитом через образовавшийся лоток. Для подпитки включают дополнительные насосы, которые регулируют привлекающую скорость. По мере накопления рыбы в рыбоуловительной камере ее перемещают в самоходный контейнер (рыбовод) с помощью которого рыбу перевозят в верхний бьеф. Плавучую установку размещают в местах скопления рыб.

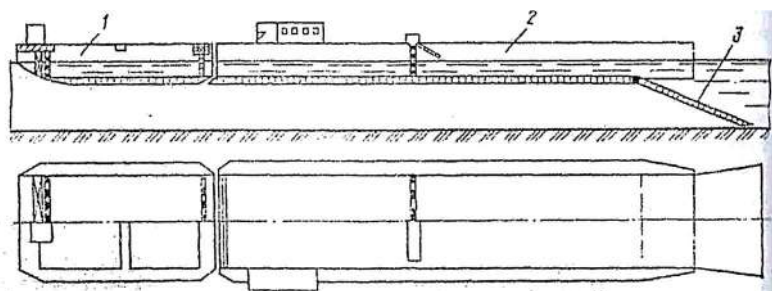


Рисунок 7.2 – Плавучая установка для накопления и транспортировки рыбы:

- 1 – самоходный контейнер; 2 – плавучий рыбоуловитель;
- 3 – сопрягающее устройство

*Время привлечения рыб* составляют: для осетровых – 60 мин, сельди чехони – 90 мин, рыба, лещ – 120 мин. Время подтягивания рыб принимают 15 мин.

*Время необходимое на перемещение рыб* составляет 60–90 мин. В каждом цикле и зависит от конструкции сооружения, а также напора на нем. На проведение одного цикла требуется 2–3 ч.

Опыт эксплуатации показывает, что для пропуска основной части рыб из нижнего бьефа в верхний необходимо иметь 2–3, а в некоторых случаях и более рыбопропускных сооружений.

При работе рыбопропускных сооружений следят за тем, чтобы *скорости потока* в зоне вывода уставшей рыбы были незначительны и легко преодолевались ею. *Скорости зависят* от режима работы примыкающих *водопроектных отверстий* или других сооружений. При этом нельзя допускать сноса рыб потоком в нижний бьеф.

Промывку бьефов водозаборного узла от наносов, когда требуется открывать все пролеты плотины, желательно совмещать с периодом максимального прохода рыб на нерест. В этом случае возможен массовый проход рыб в верхний бьеф.

Снос молоди из зоны нереста вниз по течению происходит большей частью самопроизвольно. На низконапорных гидроузлах рыбы способны проходить через открытые отверстия плотин и других сооружений. Поэтому в целях предупреждения травмирования рыб их следует пропускать через сооружения, не имеющиеся в нижнем бьефе гасителей энергии водного потока (шашек, пирсов, растекателей и др.).

Схему маневрирования затворами плотины, особенно в период прохода рыб на нерест, увязывают с работой рыбопропускных сооружений из условия создания на более длинном участке потока с привлекающими скоростями и максимального привлечения рыб к рыбопропускному сооружению. Эксплуатацию рыбопропускных сооружений следует осуществлять также с учетом закономерности суточной активности рыб, так

как в течение суток у различных рыб сильно меняется ритм миграции; максимальную миграцию днем осуществляют сельдь, лещ, белорыбица, чехонь, судак и др.; вечером и ночью – сом, судак, густера, рыбец и др.; круглосуточно с преобладанием в ночные часы – осетр, севрюга и др.

### **7.3 Организация технического обслуживания РЗС**

Организацию технического обслуживания и эксплуатацию рыбозащитных сооружений обеспечивают службы водопотребителя согласно нормативных документов, инструкций, правил, которые могут иметь общее или частное направление (Н. А. Михеев).

Правила общего направления могут устанавливать порядок эксплуатации водозаборов и РЗС для отдельных регионов или водных бассейнов и отражают особенности, которые свойственны конкретным условиям. Крупные рыбохозяйственные регионы разрабатывают региональные, межрегиональные программы охраны рыбных запасов с основными положениями условий эксплуатации. При этом будущие условия эксплуатации учитываются при выборе местоположения водозабора и его компоновки, типа рыбозащитного устройства, условий рыбоотвода, уровня автоматизации и механизации сооружения. Для отдельного сооружения устройства разрабатывают *правила и инструкции* по эксплуатации, которые отражают особенности данной конструкций.

Характерной особенностью эксплуатации крупных рыбозащитных сооружений является привлечение в состав службы специалистов ихтиологов. Они состоят в штате бассейнового управления (районной инспекции) Росрыбвода, подотчетны и подконтрольны ему. Бассейном управления осуществляют контроль над соблюдением правил эксплуатации РЗС и устройств на существующих водозаборах; проводят оценку их рыбозащитной эффективности; дают организациям и предприятиям заключение по технической документации на размещение водозаборов и оснащение их рыбозащитными сооружениями;

применяют административные санкции причиненный ущерб от работы водозабора и низкую эффективность защиты рыб.

Эксплуатация рыбозащитных сооружений включает выполнение организационно-хозяйственных, инженерно-технических и финансово-экономических мероприятий.

К организационно-хозяйственным мероприятиям относятся:

- организация ихтиологической службы сооружения;
- обеспечение безопасности жизнедеятельности обслуживающего персонала;
- формирование материально-технической базы;
- организация научно-исследовательских работ по оценке работоспособности и рыбозащитной эффективности сооружения.

Инженерно-технические мероприятия включают:

- организацию технического обслуживания и эксплуатацию рыбозащитного сооружения;
- текущий, капитальный ремонт и реконструкцию сооружения;
- внедрение новых достижений науки и техники при совершенствовании отдельных узлов, элементов;
- техническое обеспечение ихтиологических наблюдений и исследований;
- организацию эффективных форм работы по экономии энергетических и материальных ресурсов;
- совершенствование средств автоматизации и контроля за работой сооружения.

Финансово-экономические мероприятия включают:

- финансовую и бухгалтерскую отчетность;
- экономическое стимулирование труда;
- определение технико-экономических показателей и затрат на эксплуатацию;
- оценку предотвращенного ущерба рыбному хозяйству.

Для ввода в эксплуатацию РЗС назначается рабочая приемно-сдаточная комиссия в состав которой входят: представители заказчика, эксплуатационной службы, проектной организации, местной администрации, подрядчика; органов бассейнового управления, санитарного и пожарного надзоров, органов по регулированию использования и охране вод, землепользователей, представителей профсоюзной организации заказчика и финансирующего банка.

*Рыбозащитные сооружения* принимаются во временную эксплуатацию (1–2 года), в течение которой проводится оптимизация технологических режимов работы, биологические, гидравлические исследования, которые направлены на:

- изучение пространственно-временной структуры ската молоди рыб в изменившихся гидравлических условиях в месте водозабора;

- оценки рыбозащитной эффективности в продолжение всего периода ската молоди;

- изучения гидравлических условий в зоне влияния водозабора при различных гидрологических режимах в водоисточнике.

По результатам *временной эксплуатации сооружения* уточняются отдельные положения инструкции по эксплуатации, разработанной проектировщиками, которая затем утверждается для постоянного использования.

Инструкция по эксплуатации рыбозащитного сооружения имеет следующее содержание.

*Введение.* Приводятся основания для разработки инструкции, данные о том, кем разработана, согласована и утверждена инструкция, а также место хранения и срок действия.

*Технические данные (Паспорт водозабора и РЗС).* Дается описание месторасположения водозабора, его назначения, технико-экономических показателей, ихтиологической характеристики водоисточника, типа рыбозащитного сооружения и его технико-экономических показателей в соответствии с содержанием паспорта водозабора.



*Устройство и режим работы.* Излагается принцип работы устройства; приводится график водоподдачи насосной станции; режим работы отдельных агрегатов; порядок работы РЗС; режим и порядок промывки РЗС; устанавливается предельно допустимая степень засорения сетчатого полотна, фильтрующих кассет и др.; приводится порядок борьбы с мусором; описывается зимний режим работы РЗС; приводятся условия работы рыбоотвода.

Отдельный раздел посвящается работе рыбозащитного сооружения в чрезвычайных условиях (тяжелые наносные условия, сложная ледовая обстановка и др.).

*Указание мер безопасности.* Приводятся правила техники безопасности при эксплуатации РЗС, использования плавсредств и грузоподъемного оборудования, виды и порядок инструктажа по технике безопасности. Указываются границы зон ограждения, тип ограждения и предупреждающие знаки.

*Природоохранные требования.* Указывается рыбозащитная эффективность устройства, соответствующая требованиям нормативной документации.

Приводится перечень эксплуатационных мероприятий по предупреждению попадания загрязняющих веществ в водоем.

*Техническое обслуживание.* Даются рекомендации по подготовке сооружения к работе, порядок работы. Приводятся виды и сроки осмотра и профилактического обслуживания сооружения, содержание и технические требования основных проверок технического состояния, инструкции по эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры и другого технологического оборудования. Устанавливаются виды и периодичность текущих, капитальных ремонтов сооружений. Перечисляются правила хранения РЗС. Излагают правила и формы учета неисправностей и продолжительности их устранения др.

*Ихтиологическое обслуживание РЗС.* Излагается порядок ихтиологических наблюдений (динамика размерно-видового состава, концентрации молоди рыб), периодичность проверки рыбозащитной эффективности сооружения.

*Организация службы эксплуатации.* Устанавливаются штатное расписание, должностные обязанности и ответственность сотрудников.

*Приложение.* Приводится перечень характерных неисправностей и мер по их устранению, графики текущего и капитального ремонтов, схемы смазки узлов и др.

По завершении периода временной эксплуатации рыбозащитное сооружение принимается в постоянную эксплуатацию государственной комиссией. При эксплуатации водозаборных и рыбозащитных сооружений в целях установления режимов их работы возникает необходимость рыбохозяйственной оценки условий района водоотбора. Для решения этой задачи проводят комплексные биолого-гидравлические исследования, изучают закономерности распределения молоди рыб в водоемисточнике, суточной и сезонной динамике ската рыб и др.

В результате эксплуатации рыбозащитного сооружения отмечают его недостатки, которые могли быть допущены на стадии проектирования и строительства. Так, наиболее *характерными* являются следующие:

- конструкторские недоработки, слабые проектные решения, ошибки в выборе типа и компоновки РЗУ;
- использование строительных материалов, изменяющих свои свойства под действием воды, низкое качество строительства;
- низкий уровень механизации и автоматизации процессов управления сооружениями [31].

#### 7.4 Эксплуатационный режим РЗС

Основными критериями эффективности рыбозащитных сооружений являются обеспечение гарантированного пропуска воды в водозабор, защиту и отведение 70–80 % молоди промысловых рыб, размером более 12 мм, простоту конструкции и ее надежность.

Во время эксплуатации рыбозащитных сооружений следует выполнять следующие *мероприятия*:

– обеспечивать равномерное распределение удельных расходов воды на подходе к экранирующему ограждению (сетки, жалюзи и др.) и нормативную скорость в ячее и;

– создавать скорость потока вдоль всего экрана к рыбоотводному устройству в 1,5 раза более  $v$  и выше сносящей скорости;

– обеспечивать систематическую работу гидравлических экранов – струевихревых завес с расходов потокообразователей  $0,02-0,1 Q_{in}$  ( $Q_{in}$  – расход водозабора).

– создавать оптимальное течение на подходе к водозабору с плавным обтеканием элементов водоприемника;

– отводить молодь рыб без ее повреждения о механические экраны и другие конструкции;

– обеспечивать скорости потока из струенаправляющих насадок не более 14 м/с, что позволит отводить молодь рыб, не травмируя ее;

– поддерживать скорость в ячейх не более 0,25–0,5 м/с с учетом расхода водозабора и эффективности струйно-вихревой завесы; при этом перепад уровней на экранирующих системах не должен превышать 0,15 м, так как в противном случае молодь рыб будет прилипать к сетке, травмироваться и забивать ее;

– обеспечивать отвод рыб в напорных потоках труб, рыбонасосов;

– проводить рыбозащитные мероприятия на водоисточнике, т. е. на входе в водозаборное сооружение;

– обеспечивать, сравнительно не длинные, рыбоотводящие каналы в пределах 150–200 м.

При использовании *стационарных насосных установок*, воду забирают из тех слоев, где почти не обитают рыбы. При этом, по мере надобности применяют отгораживающие устройства (запони, зонные ограждения). Рыбоотгораживающие устройства (рисунок 7.3) размещают из условия создания скоростей в водозаборном сечении не более 0,1 м/с.

Перемещающееся рыбоотгораживающее устройство должно быть мобильным и позволяющим оперативно вводить коррективы в конструкцию с учетом поведения рыб и изменения слоя обитания молоди. Если это мероприятие осуществить невозможно, то в период массового ската молоди в определенное время суток забор воды стараются прекратить.

Временные водозаборные устройства, как и постоянные, не рекомендуется устанавливать на излучинах у вогнутого берега, куда потоком сносится много молоди рыб. Однако в регионах с теплым климатом появляется большое число мелких водорослей, которые обвивают мелкие ячеи и забивают их. Пропускная способность таких сеток резко уменьшается. Сетка, забитая планктоном, не поддается промывка сильной струей воды. В этом случае рекомендуется заменять сетку на очищенную, а снятую сетку просушивать и очищать механизированными щетками.

На передвижных *водозаборных устройствах* применяют оголовок РОП (рыбозащитный, омываемый потокообразователем), который используют при заборе воды насосными станциями с расходами 50–500 л/с.

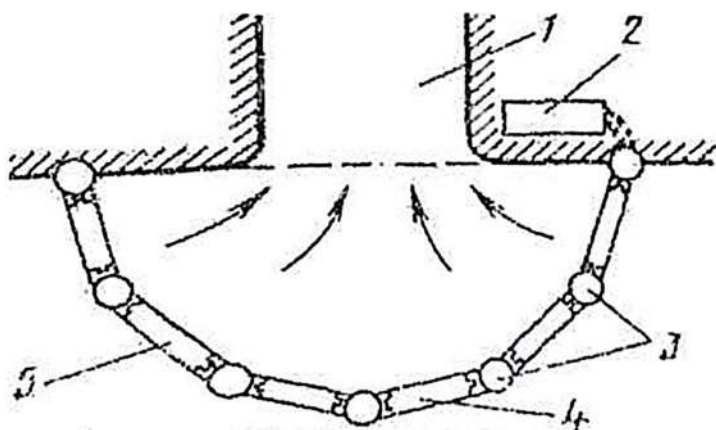


Рисунок 7.3 – Схема рыбоотгораживающего устройства:  
1 – водозаборный канал; 2 – здание управления; 3 – опоры;  
4 и 5 – вертикально-перемещающиеся и неподвижные зонные ограждения

Оголовок РОП содержит внутренний перфорированный корпус, внешнюю перфорированную обшивку конусной формы и потокообразователь, размещенный в вершине конуса и снабженный трубопроводом для питания.

*Механизмы и металлические конструкции* рыбозащитных устройств подвергают своевременной профилактике путем осмотра и поддержании в работоспособном состоянии. С этой целью их систематически очищают от ржавчины, мусора, наносов и других предметов, окрашивают и защищают от обрастания.

*В условиях зимней эксплуатации* водозаборного сооружения проводятся мероприятия по задержанию шуги перед водозаборным водоприемником, обогреву устройств от обмерзания.

*В нерабочий период* съемные элементы рыбозаградительных устройств поднимают для профилактики, ремонта и хранения. Наиболее ответственные части рыбозаградителей хранят на складе.

## **7.5 Оценка рыбозащитной эффективности РЗС**

Оценка эффективности работы РЗС осуществляется бассейновым управлением рыбоохраны и территориальным органом Минприроды РФ согласно рекомендациям, изложенным в «Инструкции о порядке осуществления контроля за эффективностью рыбозащитных устройств и проведении наблюдений за гибелью рыбы на водозаборных сооружениях».

В инструкции выделено шесть классов водозаборных сооружений, учитывающих особенности применения методов учета попадающих в них рыб:

*1 класс* – водозаборные сооружения тепловых электростанций и др. водозаборы, имеющие вращающиеся водоочистные сетки. Методами учета рыб являются: сбор рыб с вращающихся сеток (основной) и дополнительные методы контроля за концентрацией рыб в сеточных камерах; периодический отлов ранней молоди перед водозаборными окнами; отлов рыб в сеточных камерах; отлов ранней молоди и личинок перед заборными окнами;

*II класс* – насосные станции с подачей воды в открытые водоприемники. Учет рыб осуществляется ловушками, установленными в открытых водоприемниках непосредственно за насосной станцией;

*III класс* – насосные станции с подачей воды в закрытые водоприемники и при наличии водоподводящих каналов. Учет проводится и на водозаборах II класса, но ловушки устанавливаются в водоподводящих каналах непосредственно перед насосной станцией;

*IV класс* – насосные станции с подачей воды в закрытые водоприемники, подводящих каналов нет. Метод учета определяется в каждом конкретном случае отдельно в зависимости от особенностей конструкции водозабора;

*V класс* – самотечные каналы с расходом воды менее  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ . Учет проводится как и на водозаборах II класса, контрольные ловушки устанавливаются в центральной части магистрального канала, непосредственно за оголовком;

*VI класс* – самотечные каналы с расходом воды более  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ . Учет проводится на водозаборах V класса, но контрольные ловушки устанавливаются не только в центральной части канала, но и у берегов.

*Расчет общего количества ценных промысловых рыб, попадающих в водозабор, производится ежемесячно на основании данных о фактически учтенных по результатам взятия ихтиологических проб рыбах каждого вида. При этом данные ихтиологических проб каждого вида рыб группируются по весовым, размерным или возрастным категориям (икра, личинка, молодь, разновозрастная рыба).*

Количество рыб  $N_i$  рассчитывается отдельно для каждой категории, характеризующейся соответствующим коэффициентом промыслового возврата по следующей формуле;

$$N_i = \frac{N \cdot T \cdot \Omega}{n_{пр} \cdot t \cdot \omega}, \quad (7.1)$$

где  $N$  – количество молоди, учтенное за расчетный период  $T$ , шт.;

$T$  – общая продолжительность расчетного периода (декада, месяц, квартал, год), ч;

$\Omega$  – общая площадь живого сечения потока, поступающего к водозабору (общее количество вращающихся сеток, если наблюдения проводятся не на каждой сетке, а выборочно),  $\text{м}^2$ , или общий расход водозабора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$n_{пр}$ , – количество взятых проб (проверок ловушек);

$t$  – продолжительность взятия одной пробы (длительность экспозиции ловушки или длительность интервала между очисткой сеток), час;

$\omega$  – площадь входного сечения ловушки,  $\text{м}^2$ , или расход воды через входное отверстие ловушки,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

В соответствии с Инструкцией основным показателем оценки работы РЗС является рыбозащитная эффективность  $K_{эф}$  – это процент задержанных и отведенных в безопасные участки водоема с сохранением жизнеспособности рыб данного вида и размера от общего числа тех же рыб, попадающих в водозаборные сооружения при отсутствии РЗС. На стадии проектирования РЗС определяется потенциальная эффективность  $K_{эф.п}$ .

Показатель рыбозащитной эффективности определяется экспериментальным путем в результате наблюдений за попаданием рыб в водозабор при наличии и отсутствии РЗУ.

При отсутствии условий для монтажа и демонтажа РЗУ показатель эффективности определяется по формуле:

$$K_{эф} = \frac{C_2 - C_1}{C_2} \cdot 100, \quad (7.2)$$

где  $C_2, C_1$  – концентрация молоди рыб соответственно за рыбозащитным устройством и перед ним, шт./ $\text{м}^3$ .

Концентрация рыб в каждой пробе определяется как:

$$C_n = \frac{N_{лов.}}{q \cdot t}, \quad (7.3)$$

где  $N_{лов.}$  – число пойманных рыб за одну установку ловушки, шт.;

$q$  – расход воды, проходящий через входное сечение ловушки:

$$q = \omega \cdot v_{л}, \text{ м}^3/\text{с};$$

$v_{л}$  – скорость потока в середине входного сечения ловушки, м/с;

$t$  – время экспозиции ловушки, с.

При возможности демонтажа РЗУ и учета гибели рыб при контакте РЗУ показатель эффективности определяется по формуле:

$$K_{эф.} = \frac{N_2T - (N_1T + N_3T)}{N_2T} \cdot 100, \quad (7.4)$$

где  $N_1$  – количество рыб, попавших в водозабор за расчетный период  $T$  при наличии РЗУ;

$N_2$  – количество рыб, попавших в водозабор за тот же период при отсутствии РЗУ;

$N_3$  – количество рыб, погибших за расчетный период после контакта с РЗУ, определяется как:

$$N_3 = n_1 + n_2 + n_3, \quad (7.5)$$

где  $n_1$  – количество рыб, осевших на РЗУ, определяется путем подсчета рыб на элементах РЗУ;

$n_2$  – количество рыб, погибших от контакта с РЗУ, определяется по результатам оценки выживаемости молоди, отловленной ниже РЗУ при работающем водозаборе;

$n_3$  – количество рыб, погибших при прохождении рыбоотводного тракта, определяется по результатам оценки выживаемости рыб, отловленных за рыбоотводом.

Количество рыб, учтенных в районе водозаборного сооружения  $N$ , может определяться двумя способами: при естественных условиях и искусственном запуске контрольных рыб.

Эффективность РЗУ оценивается показателем выживаемости рыб, который характеризуется воздействием элементов РЗУ на жизнеспособность рыб. Для оценки выживаемости определяется количество жизнеспособных рыб до ( $N_{ж0}$ ) и после



( $N_{жсн}$ ) воздействия фактора. Показатель выживаемости рыб определяется по зависимости:

$$K_{вжс.} = \frac{N_{жсн.}}{N_{жсо}}, \quad (7.6)$$

Для предварительной оценки ущерба, наносимого рыбному хозяйству от гибели рыб при водозаборе, в соответствии с Инструкцией определяется величина непосредственного или прямого ущерба и ущерба от потери потомства.

Величина прямого ущерба  $U_1$  определяется по формуле:

$$U_1 = z \cdot \left( n_p \cdot P + \frac{n_m \cdot P \cdot K_m}{100} + \frac{n_l \cdot P \cdot K_l}{100} + \frac{n_u \cdot P \cdot K_u}{100} \right), \quad (7.7)$$

где  $z$  – стоимость одного кг рыбы при сложившемся распределении сырья по видам обработки и розничным ценам на период наблюдений, руб.;

$n_p$  – количество погибших взрослых особей рыб, шт.;

$P$  – средний вес взрослой особи, кг;

$n_m, n_l, n_u$  – количество погибшей соответственно от молоди рыб, личинок и икры, шт.;

$K_m, K_l, K_u$  – коэффициент промыслового возврата соответственно от молоди личинок и икры, %.

Ущерб от потери потомства  $U_2$  определяется по формуле:

$$U_2 = \frac{n_p \cdot Q_n \cdot K_u \cdot P \cdot r \cdot C_n}{10000} \cdot z, \quad (7.8)$$

где  $Q_n$  – средняя плодовитость, шт. икринок;

$r$  – доля самок в стаде, %;

$C_n$  – кратность нереста, раз.

Сумма величин прямого ущерба и ущерба от потери потомства принимается за общий ущерб, причиненный в результате гибели рыб при водозаборе.

*Анализ работы различных типов РЗУ* свидетельствует, что рыбозащитная эффективность конструкции зависит от многих факторов, в том числе от условий взаимодействия системы

«устройство-рыба». Отдельные конструкции, например, устройства типа запони, воздушно-пузырьковые завесы и др. следует использовать только в составе рыбозащитных комплексов, а эффективность работы одного и того же устройства зависит от концентрации и размерно-видового состава молоди рыб, гидравлических и компоновочных условий водоотбора и др.

Данные различных авторов о рыбозащитной эффективности существующих типов РЗУ приведены в таблице 7.2.

Таблица 7.2 – Эффективность различных типов РЗУ

№ п/п	Тип рыбозащитного устройства	Диапазон расходов РЗУ или секции, м <sup>3</sup> /с	Размеры защищаемой молоди рыб, мм	Эффективность, %	
				без учета выживаемости рыб	с учетом выживаемости рыб
1	2	3	4	5	6
1	Плоская сетка с рыбоотводом	Более 5,0	8–25 20 70–116	10,4–12,8 60–70	0–1,1 36 100
2	Струереактивный барабан (СРЗ)	0,25–1,5	18–20	35,0–69,0	10,0–20,0
3	РОП	0,05–0,5	20 30	– –	11,7–76,0 90,0
4	Конусная сетка с рыбоотводом (КСР) ВолжНИИГиМа	1,0–10,0	4–12 13–16 Более 16	50–70 90,0 90,0	26,2 63,2 76,5–70,0
5	ARS	До 0,1	До 15 16–20	87,1–99,1 92,1–94,9 83,7–85,7	85,0–97,0 90,0–93,0 82,0–84,0
6	Лопастной барабан БЛР-500	0,5	До 15 16–20 21–25	78,9–80,4 81,1–82,3 83,2–86,1	77,0–79,0 79,0–81,0 82,0–85,0
7	Зонтик Укргипроводхоза	До 1,0	6,8–27,2	57,1–98,0	–
8	Концентратор (РКВС)	5,0–25,0	11–16 33–44	14,3–81,5 40,8–88,0	–
9	Поликонтактная система «ПИРС»	До 80,0	5–70	74,3–90,6	–

Продолжение таблицы 7.2

1	2	3	4	5	6
10	Воздушно-пузырьковая за- веса (ВПЗ)	1,8	40–60	44–68	–
11	Объемный фильтр	0,125	8–12	68–80	–
12	Порозластовый фильтр	0,1–0,2	7–10	61–100	20–85
13	Жалюзи с гидросмывом	До 20,0	6–45	92,5	–
14	Зонное ограждение с ВПЗ	До 35,0	6–35,0	96,3	–
15	Запость с ВПЗ	3,6	6–60	75	–
16	Комплекс: запость, жалюзи с гидравлическими струями	3,5	16–90	76,9	–

Критерием оценки рыбозащитных сооружений являются удельные показатели капитальных и эксплуатационных затрат, характеризующие стоимость рыбоохранных мероприятий на один кубический метр подаваемой водозабором воды. В таблице 7.3 приведены данные технико-экономических показателей рыбозащитных сооружений отдельных водозаборов центральных и южных регионов России.

Таблица 7.3 – Технико-экономические показатели рыбозащитных сооружений водозаборов

Наименование водозабора	Расход, м <sup>3</sup> /с	Тип РЗУ	Число секций (модулей)	Удельные показатели, тыс. руб. на м <sup>3</sup> /с	
				капиталовложения	эксплуатационные издержки в год
1	2	3	4	5	6
Марьяно-Чебургольской ОС	330,0	W-ПС	3	80,0	3,6
Донского МК	250,0	«»	4	240,0	8,8
Гудермесской ОС	20,0	«»	1	680,0	11,6
Федоровской ОС	42,0	ПСР	1	280,0	15,0
Приволжской ОС	37,8	«»	1	90,0	4,0
Кулундинской ОС	30,0	«»	1	120,0	5,0

Продолжение таблицы 7.3

1	2	3	4	5	6
Азовской ОС	20,0	ПС	5	310,0	5,8
Энгельской ОС	21,0	КСР-2	7	190,0	11,2
Учхоза Степное, Саратовская Область	4,4	КСР-1,5	2	140,0	14,0
Право-егорлыкского канала	67,0	«ПИРС»	4	24,9	1,5
Мало-Кабардинского канала	24,0	«»	2	76,0	3,0
Саратовского канала	36,0	«»	3	53,0	2,5
Куйбышевского канала	25,0	«»	2	76,0	3,3

Данные таблицы свидетельствуют, что наиболее экономичным как по капитальным затратам, так и по эксплуатационным издержкам является конструкция «ПИРС», в тоже время удельные затраты увеличиваются с уменьшением расхода водозабора.

## 7.6 Эксплуатация рыбозащитных комплексов

В системе мер, обеспечивающих надежную и эффективную работу рыбозащитных сооружений, организации их качественной эксплуатации придается приоритетное значение. Достаточно отметить, что будущие условия эксплуатации принимаются во внимание при выборе месторасположения водозабора, типа рыбозащитного устройства, уровня автоматизации и механизации сооружения и др.

Особенности эксплуатации рыбозащитных сооружений и оптимизации в процессе их использования освещены в работах Н. Т. Кавешникова, 1989; Б. С. Малеванчика и И. В. Никонорова, 1984; И. И. Рипинского, 1991; Г. Я. Сегаля, 1992; Л. П. Фильчагова, 1990; А. С. Цыпляева, 1973 и др. Сотрудниками отраслевой лаборатории НГМА с 1983 г. ведутся исследования РЗС на водозаборах Нижней Волги. За этот период обследовано более 1600 водозаборов, в том числе многие с про-

ведением комплексных биогидравлических исследований, отдельные результаты которых представлены во втором главе настоящей работы. Накопленный материал позволяет сделать некоторые обобщения и оценку условий эксплуатации рыбозащитных сооружений.

### **7.7 Состояние эксплуатации рыбозащитных сооружений и устройств**

В соответствии с существующими нормативными актами рыбозащитные сооружения находятся в ведении организаций, эксплуатирующих водозаборные сооружения. Указанные организации независимо от форм собственности, принадлежности и места регистрации назначают лицо, ответственное за эксплуатацию рыбозащитного устройства.

Эксплуатация рыбозащитных сооружений основывается на системе правил, нормативных документов и инструкций, как общего, так и частного характера. Правила общего характера устанавливают порядок эксплуатации водозаборов и РЗС для отдельных регионов или водных бассейнов и отражают особенности, свойственные данным условиям. Важные в рыбохозяйственном отношении регионы (например, Нижняя Волга, дельта Волги и др.) разрабатывают региональные, межрегиональные программы охраны рыбных запасов, в которых отдельными блоками выделяются вопросы эксплуатации рыбоохранных сооружений. Для отдельного сооружения или устройства разрабатываются правила и инструкции по эксплуатации, которые отражают особенности данной конструкции.

В процессе эксплуатации рыбозащитного сооружения, как и любого другого, проявляются недостатки и ошибки, допущенные при конструировании, проектировании и строительстве. Анализ данных эксплуатационных служб и результатов натурных исследований показывает, что проблемы эксплуатации рыбозащитных сооружений осложняются рядом обстоятельств.

*Конструкторские недоработки, слабые проектные решения, ошибки в выборе типа и компоновки РЗУ.* Весьма распространенным нарушением является несоответствие между принятыми условиями размещения РЗУ и технологическими требованиями самой конструкции. В качестве примера рассмотрим компоновку рыбозащитного сооружения, при которой отсутствуют естественные условия отведения молоди рыб от РЗУ, а нарушение инструкции по эксплуатации способствуют тому, что не имеющая возможности выйти за пределы зоны влияния водозабора молодь гибнет на элементах РЗУ.

Это наглядно видно из условий применения рыбозащитного оголовка РОП на водозаборе Хоботовского предприятия «Крахмалопродукт» в Тамбовской области. Водозабор расположен на правом берегу р. Иловай и оборудован тремя насосами, всасывающие оголовки которых вынесены в русло на 6,0 м от уреза воды. Забор воды осуществляется круглосуточно с максимальной производительностью 0,084 м<sup>3</sup>/с, скорости течения в месте водозабора практически отсутствуют.

Рыбозащитные оголовки РОП-175 не подключены к системе промыва и фактически свои функции не выполняют, т.к. диаметр ячеек перфорированного полотна 4 мм не предотвращает попадания молоди во всасывающие трубы станции. Однако даже при устранении этого нарушения компоновка устройств, приведенная на рисунке 7.4, не позволяет их эффективно использовать.

Как видно из приведенной схемы, совместная работа двух, а тем более трех рыбозащитных устройств исключает всякую возможность молоди выйти из зоны влияния РЗУ, которая превращается в зону интенсивного накопления и гибели рыб.

*Использование строительных материалов, изменяющих свои свойства под действием воды, низкое качество строительства.* Практически на всех водозаборах дельты Волги в качестве сетчатого экрана используется металлическая сетка, которая быстро корродирует, обрастает и выходит из строя. Установлено, что использование сеток из углеродистых сталей в

сетчатых рыбозащитных сооружениях в 6–8 раз увеличивает ежегодные затраты на их обслуживание и ремонт в сравнении с сетками латунными или из нержавеющей стали. Корродируют, затрудняют эксплуатацию и выходят из строя металлические элементы РЗУ, выполненные из углеродистой стали. Использование керамзитобетонных фильтрующих кассет в зимних условиях приводит к их размораживанию и разрушению. Выступы металлических элементов, задиры и складки на сетчатом полотне травмируют молодь рыб, остатки прежних строительных конструкций и строительного мусора изменяют гидравлическую структуру в районе РЗУ и условия его работы.

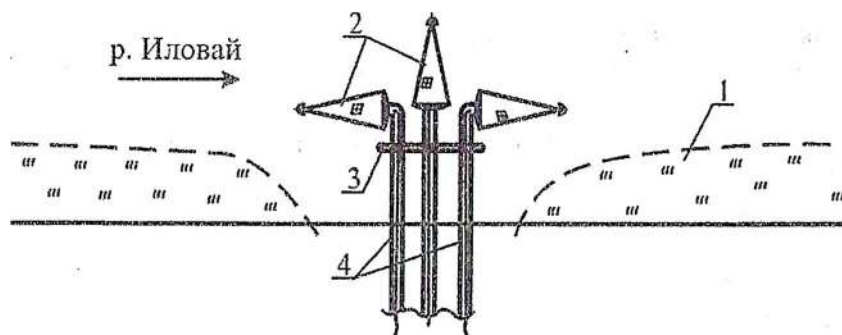


Рисунок 7.4 – Схема компоновки оголовков РОП-175 на водозаборе Хоботовского предприятия «Крахмалопродукт»:

1 – заросли прибрежной растительности; 2 – рыбозащитные оголовки РОП; 3 – эстакада; 4 – всасывающие водоводы

**Низкий уровень механизации и автоматизации процессов управления сооружениями.** Отсутствие специальных средств для подъема рыбозащитных устройств в целях осмотра и ремонта или их низкое качество осложняют своевременное устранение повреждений, а выход из строя промывных устройств приводит к засорению сетчатых полотен, увеличению перепада на сетке и ее разрывам.

Например, водозабор Азовской ОС, Ростовская область оснащен РЗУ типа плоская сетка по проекту оборудован передвижным подъемным краном МЭМЗ-1, который из-за малого

радиуса кривизны рельсового пути фактически не перемещается. Не работают средства механизации очистки сороудерживающих решеток. В целом вопросы механизации и автоматизации работы данного сооружения еще на стадии проекта решены крайне слабо. Впрочем, этот недостаток следует отнести ко многим отечественным проектам рыбозащитных сооружений.

Указанные недостатки, а также нарушение правил эксплуатации и обслуживания играют существенную роль в снижении рыбозащитной эффективности сооружений.

Вместе с тем, опыт использования рыбозащитных сооружений за рубежом показывает, что хорошее качество строительства и высокий уровень механизации и автоматизации технологических процессов могут обеспечивать практически полную защиту рыб при заборе воды.

Проведенный анализ публикаций позволяет отметить некоторые особенности зарубежного, в частности американского, опыта использования рыбозащитных сооружений.

Во-первых, самым ценным объектом рыбозащиты в США является молодь лососевых рыб (горбуша, кета, кижуч, нерка, таймень, радужная форель, хариус, чавыча и др.), скат которой в основной своей массе происходит в поверхностных слоях потока (0,9–1,0 м) в возрасте более года (размером от 30–40 до 150 мм). Плавательная способность такой молоди выше, что в значительной степени облегчает решение задач защиты при водозаборе.

Во-вторых, проектирование водозаборов осуществляется на основе требований, учитывающих факторы, связанные с особенностями организации защиты молоди рыб (тип водозабора, створ размещения, гидравлическая структура потока, тип РЗУ, его влияние на работу насосов и др.). В качестве примера ниже приведены требования по проектированию, строительству и эксплуатации РЗУ в виде неподвижных сетчатых экранов на расход водозабора до 30 л/с:



- экраны должны быть изготовлены из нержавеющей материалов (алюминий, нержавеющая сталь, латунь, бронза);
- размер ячеек экрана не должен превышать 2,5 мм, а общая площадь отверстий должна быть не менее 50 % от общей площади экрана;
- полезная площадь экрана должна составлять 0,3 м<sup>2</sup> на 10 л/с расхода воды;
- устройство устанавливается ниже отметки минимального уровня воды в водоисточнике;
- водозабор должен быть оборудован сороудерживающими решетками или иными устройствами, предохраняющими экран от повреждения плавающим мусором и льдом;
- экран РЗУ должен устанавливаться с учетом удобства его осмотра, очистки и ремонта;
- компоновка водозабора и конструкция РЗУ должны обеспечивать равномерность распределения скоростей потока по всей площади экрана.

В-третьих, разнообразие рыбоохранных конструкций применительно к условиям защиты скатывающейся молоди и взрослых рыб от попадания в водоводы агрегатов ГЭС. Так в состав сооружений для сбора и отвода рыб при плотинах ГЭС, как правило, входят: РЗУ в виде вертикально и (или) горизонтально движущихся экранов, рыбосборник, рыбонасос, сепаратор рыб, бассейн для сбора рыб, станции мечения и профилактики рыбы от болезнетворных инфекций, система охлаждения воды, система подачи рыбы в транспортные средства, автоцистерны или баржи с системой жизнеобеспечения рыб и др.

И, наконец, при проектировании водозаборов отдельным вопросом, требующим своего решения, является разработка мероприятий по защите особо малых водных организмов. В этом направлении ведется поиск специальных устройств и защитных конструкций или обосновывается применение специальных водозаборных сооружений, например, по типу лучевого водозабора.

Практически все сооружения отличаются высоким качеством изготовления, уровнем механизации и автоматизации. На многих рыбозащитных сооружениях в качестве подъемных механизмов используются автомобильные краны как наиболее мобильные и экономичные.

Надежность и эффективность защиты рыб строится на базе:

- строгого соблюдения требований, предъявляемых к проектированию, строительству и эксплуатации водозаборных устройств с РЗУ;

- систематических наблюдений и исследований биологов, инженеров и других специалистов практически на всех крупных объектах;

- системы мер законодательного характера и соответствующего контроля на местах;

- высокой культуры эксплуатации и обслуживания.

Отечественный и зарубежный опыт эксплуатации рыбозащитных сооружений, позволил установить ряд проблем, вызванных особенностями работы самих сооружений.

Так, повышение концентрации молоди рыб в рыбоотводящем тракте и в месте его выхода в водоем-рыбоприемник привлекает хищников и птиц. Например, в районе впадения рыбоотвода рыбозащитного сооружения Донского магистрального канала в р. Дон формируется колония чаек, наносящая значительный ущерб рыбным запасам. О масштабах ущерба можно судить по результатам исследований системы сбора и отвода рыбы на гидроузле Аис-Харбор на р. Снейк (США), в которых отмечается, что 33 % отведенной молоди поедается хищниками и чайками.

Указанные обстоятельства необходимо учитывать на стадии проектирования РЗУ, так при значительной протяженности открытых рыбоотводных трактов для защиты в них молоди от чаек используется покрытие лотков и каналов металлической сеткой и др. [27].

## 7.8 Вопросы эксплуатации рыбозащитных сооружений и рыбоотводов

Снижение функциональной эффективности ниже допустимой, а также значительные материальные издержки в настоящее время связаны с условиями эксплуатации и, в первую очередь, с низким уровнем надежности – долговечности существующих рыбозащитных сооружений, что и определяет необходимость их реконструкции. Вместе с тем отлаженной системы мониторинга отказов и оценки параметров надежности РЗС не создано, а критерием реконструкции является по существу ветхость сооружения.

В работе на основе анализа накопленного опыта использования РЗС нами предложены показатели и методика оценки надежности рыбозащитных сооружений. Так, по данным натурных исследований рыбозащитных сооружений, выявленные отказы и дефекты по причинам возникновения можно разделить на три группы:

- конструктивные, обусловленные нарушением существующих требований и правил конструирования, в частности, несоответствие между принятыми условиями размещения РЗУ и технологическими требованиями самой конструкции;
- производственные, вызванные нарушениями в процессе строительства, изготовления или ремонта, например, использование строительных материалов, изменяющих свойства под действием воды (коррозия и др.), низкое качество строительства;
- эксплуатационные, обусловленные нарушениями инструкции по эксплуатации РЗС и правил использования вспомогательного электромеханического оборудования, к примеру, низкий уровень механизации и автоматизации процессов управления сооружениями.

В этой связи проблемы эксплуатации рыбозащитных сооружений и рыбоотводов играют ключевую роль в сохранении ихтиофауны водоисточников. Основным документом, регламентирующим условия использования рыбозащитного сооружения, является «Инструкция по эксплуатации», которая имеет следующее содержание.

*Введение.* Приводятся основания для разработки инструкции, данные о том, кем разработана, согласована и утверждена инструкция, а также место хранения и срок действия.

*Технические данные.* Приводятся технические показатели РЗС, включая пропускную способность и общие параметры сооружения; технические характеристики защитного элемента (например, сетки); промывного устройства и его привода, насосно-силового оборудования.

*Устройство и работа.* Дается краткое описание месторасположения рыбозащитного сооружения и его элементов с указанием размеров и детализацией основных конструктивных решений. Излагается принцип работы устройства и отдельных агрегатов; приводится порядок промывки рабочих элементов и борьбы с мусором; описывается зимний режим работы РЗС; приводятся условия работы рыбоотвода. При необходимости разрабатывается отдельный раздел, посвященный работе сооружения в чрезвычайных условиях (наносы, сложная ледовая обстановка и др.).

*Указание мер безопасности.* Приводятся правила техники безопасности при эксплуатации РЗС, использования плавсредств и грузоподъемного оборудования, требования к организации осмотра и ремонта оборудования, виды и порядок инструктажа по технике безопасности. Указываются границы зон ограждения, тип ограждения и предупреждающие знаки.

*Природоохранные требования.* Указывается рыбозащитная эффективность устройства, соответствующая требованиям нормативной документации. Приводится перечень эксплуатационных мероприятий по предупреждению попадания загрязняющих веществ в водоем.

*Подготовка к работе.* Приводятся виды и порядок подготовки составных частей, сборочных единиц и деталей к сборке и установке рыбозащитного сооружения; последовательность проверки состояния и выполнения пусконаладочных работ насосно-силового и подъемно-транспортного оборудования.

*Порядок работы.* Описывается последовательность выполнения работ от включения и периодического визуального текущего контроля до организации учета замечаний и неисправностей, касающихся конструкции рыбозащитного устройства.

*Возможные неисправности и методы их устранения.* По всем элементам рыбозащитного сооружения перечисляются возможные неисправности и их внешнее проявление, вероятные причины и методы устранения.

*Техническое обслуживание.* Приводятся виды и сроки осмотров и профилактического обслуживания сооружения, содержание и технические требования основных проверок технического состояния, инструкции по эксплуатации контрольно-измерительной аппаратуры и другого технологического оборудования. Устанавливаются неисправности и сроки их устранения; виды и периодичность текущих и капитальных ремонтов сооружений.

*Ихтиологическое обслуживание РЗС.* Излагается порядок ихтиологических наблюдений (динамика размерно-видового состава, концентрации молоди рыб), периодичность проверки рыбозащитной эффективности сооружения.

*Организация службы эксплуатации.* Устанавливаются штатное расписание, должностные обязанности и ответственность сотрудников.

*Правила хранения.* Даются рекомендации по подготовке рыбозащитного сооружения к длительному хранению после завершения сезона эксплуатации.

*Приложение.* Приводится перечень характерных неисправностей и мер по их устранению, графики текущего и капитального ремонтов, схемы смазки узлов и др.

При разработке инструкции по эксплуатации следует учитывать, что режим работы рыбозащитного сооружения определяется конструкцией и компоновкой РЗС, суточной и сезонной динамикой ската молоди рыб, режимом работы водозабора.

Особенности эксплуатации рыбозащитного сооружения на водозаборе, работающем в сезонном режиме, можно разделить на несколько этапов.

**Предпусковой этап.** На этом этапе обеспечивается предпусковая подготовка сооружения, включающая технический осмотр всех элементов, в результате которого устанавливается:

- сплошность защитного экрана;
- работоспособность насосной станции;
- свободный доступ к рыбоотводящему лотку;
- работоспособность (при наличии) систем водовоздухоподачи, освещения рыбозащитного элемента и рыбоотвода;
- работоспособность подъемных механизмов;
- сплошность сороудерживающей решетки и работоспособность решетко-очистительных машин;
- чистота камеры РЗС от строительного мусора.

**Пусковой этап.** На этапе заполнения водой камеры РЗС и подводящего канала особое внимание уделяется предотвращению поступления плавающего мусора и засорения защитного экрана. Любой мусор, задерживающийся у экрана, оперативно удаляется.

**Рабочий этап.** Эксплуатация и техническое обслуживание сооружения в процессе штатного режима работы включает следующие виды работ:

- ежедневный осмотр защитного экрана, уборка мусора по мере его накопления (режим осмотра уточняется по результатам натуральных исследований);
- соблюдение режима равномерного открытия затворов и обеспечение равномерного подхода потока к экрану (оптимизируется по результатам натуральных исследований);
- соблюдение режима работы гидравлической завесы (при наличии), который оптимизируется в процессе натуральных исследований, в том числе дневного и ночного режимов;
- осмотр и очистка (при необходимости) приемной части и участка рыбоотводного лотка до сопряжения с транзитной частью;

- соблюдение режима освещения в темное время суток входной части рыбоотвода (при наличии), который уточняется в результате натурных исследований;
- технический уход и обслуживание механического оборудования сооружения (очистка, смазка, окраска и др.);
- технический уход и обслуживание электросилового оборудования сооружения;
- поддержание чистоты на всем сооружении.

**Этап завершения работы и консервации.** При завершении работы сооружения и подготовке к зимнему содержанию выполняются следующие операции:

- перекрытие затворов перегораживающих сооружений;
- опорожнение (самотеком или принудительно) камера РЗС;
- осмотр и очистка камеры от мусора, наносов и др.;
- осмотр и очистка защитного экрана и промывных устройств;
- опорожнение и ревизия водоводов, задвижек и насадок системы водоподдачи, зачистка и консервация на зимний период;
- осмотр системы освещения входа в рыбоотвод (при наличии);
- после первого года эксплуатации – визуальное обследование рыбоотводного тракта на всем протяжении от РЗУ до выхода в водоем-рыбоприемник, при необходимости – определение участков ремонта или восстановления;
- техническое обслуживание и консервация на зимний период всего механического и электросилового оборудования РЗС.

*При эксплуатации рыбоотводов рыбозащитных сооружений необходимо учитывать особенности, которые связаны с конструкцией и определенными условиями работы рыбозащитного сооружения в целом.*

В типовом варианте технологическая схема работы рыбоотвода РЗС водозабора при сезонном режиме эксплуатации (мелиоративного, например) включает три периода.

**Начальный период** – от начала заполнения канала до достижения водой в аванкамере РЗС рабочей отметки.

Данный период, в зависимости от параметров канала, может иметь продолжительность от нескольких дней до 2–3 декад; характеризуется обильным поступлением плавающего мусора, накопившегося в канале за зиму, и повышенной мутностью воды. В первые часы или дни, в зависимости от интенсивности поступления мусора, необходимо организовать постоянную работу по очистке сороудерживающей решетки, сетчатые рамы РЗС рекомендуется поднять и основную массу мелкого мусора пропустить транзитом. После установки сетчатых рам обеспечить постоянную работу промывных устройств сетчатых полотен и контроль за засоряемостью приемных окон рыбоотвода.

**Рабочий период** – от начала поступления воды в рыбоотвод до достижения водой в аванкамере РЗС отметок, соответствующих расчетному диапазону расходов водозабора.

Особенностью данного периода является то, что расход воды в рыбоотводе устанавливается автоматически, промывные устройства сеточного полотна работают в штатном (проектном) режиме, обеспечивая проектные перепады воды на сетке. В задачу службы эксплуатации входит контроль и своевременная очистка приемных окон рыбоотвода.

**Период опорожнения** – включает два этапа, первый – от начала опорожнения канала до достижения водой в аванкамере РЗС отметки порога рыбоотвода. На этом этапе расход водой в рыбоотвод уменьшается в соответствии с падением уровня, при достижении уровня отметки порога рыбоотвода воздушно-пузырьковая завеса отключается, открываются затворы сбросной системы. Второй этап начинается с момента открытия затворов сбросной системы до полного осушения аванкамеры РЗС. Молодь рыб, оставшаяся в аванкамере РЗС, переводится в рыбоотводящий тракт через донные галереи. В связи со снижением уровня в аванкамере вероятность травмирования рыб уменьшается.



Для повышения эффективности отвода молоди рыб от сеточного полотна РЗС необходима разработка и оптимизация экологически обоснованных и технически надежных рыбоотводящих элементов с учетом конструктивных особенностей и специфических условий эксплуатации рыбозащитных сооружений.

Основными направлениями дальнейшего совершенствования рыбоотводов РЗС с плоской сеткой являются:

- совершенствование конструктивных решений и оптимизация условий сопряжения потока для рыбоотводов с режимом закрытого рыбоотведения посредством донных галерей;

- оптимизация условий сопряжения потоков за сопрягающими сооружениями и их конструктивных элементов из условий безопасного перемещения защищенной молоди рыб и перевода в водоем-рыбоприемник;

- обоснование технических решений, оптимизация параметров и разработка рекомендаций по проектированию транзитной части рыбоотводных трактов при наличии открытых и закрытых участков, отвечающих требованиям жизнеобеспечения рыб;

- разработка рекомендаций по эксплуатации рыбоотводов рыбозащитных сооружений и обеспечению жизнеспособности рыб на всем протяжении тракта [28].

## **7.9 Эксплуатация рыбозащитных устройств и оценка ущерба морским биоресурсам**

Буровые платформы являются опасными производственными объектами, имеющими повышенные требования безопасности, в том числе обеспечения аварийного пожаротушения, в этой связи техническая надежность РЗУ не должна снижать показатели надежности объекта в целом.

Как всякое техническое решение, рыбозащитное устройство требует организации качественной эксплуатации, чему в условиях моря придается приоритетное значение. Следует отметить, что выбор конструкции РЗУ осуществляется с учетом

возможностей последующей эксплуатации, компоновки водоприемника, условий автоматизации и механизации и др.

Эксплуатация РЗУ предполагает возможность постоянного обследования и обслуживания устройства, что может достигаться: в подводных условиях; с подъемом РЗУ на палубу; с доступом к РЗУ внутри кингстонного ящика платформы.

При выборе конструкции РЗУ и оценке возможностей ее эксплуатации в условиях платформы необходимо учитывать:

- наличие стационарного подъемного оборудования (захватов, ловушек, направляющих, подъемников и др.);

- доступность к рыбозащитному устройству, расположенному внутри кингстонного ящика платформы;

- условия сложной ледовой обстановки и высокую вероятность воздействия льда на корпус подводной части платформы и РЗУ;

- отсутствие штатного состава водолазов и необходимого оборудования для подводных работ, а также трудности с доставкой водолазной команды к месторасположению платформы;

- подготовку персонала платформы к обслуживанию рыбозащитного устройства в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Сотрудниками ООО Осанна более десяти лет ведутся исследования РЗУ на водозаборах МНГС. За это время обследовано около 20 различных конструкций РЗУ, в том числе с проведением комплексных биогидравлических исследований. Собранный полевой материал позволил сформулировать общие требования к условиям эксплуатации РЗУ водозаборов морских буровых платформ.

## **7.10 Общие рекомендации по эксплуатации РЗУ водозаборов морских платформ**

Эксплуатация рыбозащитного устройства осуществляется в строгом соответствии с Руководством по эксплуатации РЗУ, разработанным разработчиком рыбозащитного устройства. Руководство по эксплуатации РЗУ предназначено для работников, занимающихся обслуживанием водозабора морского нефтегазопромыслового сооружения и должно содержать сведения, необходимые для уяснения принципиальных и функциональных особенностей работы РЗУ и его узлов, обеспечивающих расчетный режим работы изделия.

Соблюдение правил эксплуатации и режимов работы РЗУ, изложенных в Руководстве по эксплуатации, обеспечит высокую функциональную эффективность устройства в течение всего срока службы.

Режим работы РЗУ должен соответствовать режиму работы насосов МНГС. Забор воды без РЗУ не допускается.

Техническое обслуживание РЗУ в процессе эксплуатации производится один раз в год и включает в себя: технический осмотр РЗУ; текущий ремонт.

При техническом осмотре выявляются засорения и механические повреждения. По результатам осмотра составляется дефектная ведомость.

Текущий ремонт включает в себя устранение возможных засорений и механических повреждений.

Отслужившее свой срок РЗУ демонтируется и устанавливается на монтажной площадке. На площадке производится очистка конструкции от мусора и биологических объектов. Мусор и прочие отходы сортируются и складываются в контейнеры.

Очищенное рыбозащитное устройство разбирается. Полимерные и резиновые части отделяются от металла, сортируются и складываются в контейнеры. Металлические детали устройства сортируют и упаковывают для вывоза на берег.

Окончательная утилизация производится на берегу. При утилизации оборудования необходимо руководствоваться санитарными и природоохранными нормами и правилами, изложенными в соответствующих разделах правил эксплуатации морских платформ.

### **7.11 Методика расчета ущерба морским биоресурсам**

Методически расчет ущерба биоресурсам включает две составляющие – оценку ущерба среде обитания (по компонентам – атмосферному воздуху, водным и земельным ресурсам) и оценку ущерба биологическим ресурсам. Расчет ущерба среде обитания проводится по соответствующим методикам и нормативным документам и в настоящей работе не рассматривается.

Для оценки ущерба водным биоресурсам в отечественной практике используются следующие методические базы:

– Методика подсчета ущерба, нанесенного рыбному хозяйству в результате сброса в рыбохозяйственные водоемы сточных вод и других отходов (утверждена Минрыбхозом СССР 16.08.1967 № 30-1-11);

– Методика подсчета ущерба, нанесенного рыбному хозяйству в результате нарушения правил рыболовства и охраны рыбных запасов (утверждена Минрыбхозом СССР 12.07.1974 № 30-2-02);

– Временная методика определения экономической эффективности природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиненного водным биоресурсам загрязнением водохозяйственных водоемов (утверждена Минрыбхозом СССР, 1989 г.);

– Методика исчисления размера вреда, причиненного водным биологическим ресурсам (Федеральное агентство по рыболовству. Приказ от 25.11.2011 № 1166. Зарегистрировано в Минюсте РФ 05.03.2012, № 23404).

Оценка ущерба рыбным запасам от устройства водозаборов осуществляется в соответствии со следующими методиками:

– Методические указания по работе контрольно-наблюдательных пунктов Главрыбвода на водозаборных сооружениях (ВНИРО, 1970);

– Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов, и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах (утверждена Госкомприроды СССР 20.10.1989);

– Экспресс-методика по определению функциональной эффективности рыбозащитных сооружений на водозаборах. (ВНИЭРХ, 2002).

Как видно из приведенного перечня, существующие методики оценки ущерба, как биоресурсам в целом, так и рыбным запасам в частности, отличаются не только многолетней историей, но и бессистемностью, несогласованностью отдельных документов, спорностью некоторых положений, на это указывают многие авторы. К тому же усложняется сотрудничество и взаимодействие в этой области с зарубежными странами, учитывая международный характер использования водных биоресурсов.

Обеспечение условий для защиты ихтиофауны от попадания в водозаборы МНГС является сложной научной и технической задачей. Достаточно отметить, что в настоящее время отсутствует зарубежный опыт разработки, строительства и эксплуатации рыбозащитных устройств для подобных сооружений, а отечественный делает только первые шаги. Однако российское законодательство, в частности Водный кодекс Российской Федерации определяет: «Водопользователи, использующие водные объекты для забора (изъятия) водных ресурсов, обязаны принимать меры по предотвращению попадания рыб и других водных биологических ресурсов в водозаборные сооружения ...» (п. 2 ст. 61), а Федеральным законом «О животном мире» установлено, что «...любая деятельность, влекущая за собой изменение среды обитания объектов животного мира и ухудшение условий их размножения, нагула, отдыха и путей

миграции, должна осуществляться с соблюдением требований, обеспечивающих охрану животного мира» (ст. 22).

Последствия негативного воздействия намечаемой деятельности на состояние водных биоресурсов определяются как от гибели или снижения продуктивности водных биоресурсов на всех стадиях их жизненного цикла, так и от гибели или снижения продуктивности их кормовых организмов, в каждом конкретном случае с учетом специфических особенностей биологических процессов в водных экосистемах.

Исходными материалами для расчета размеров ущерба рыбным запасам при реализации проекта бурения и затрат на его возмещение являются:

- информация о фоновом состоянии водных биоресурсов в районе размещения платформы;
- гидробиологические, экосистемные показатели расчетного шельфа;
- исходные параметры проекта;
- оценка распространения загрязняющих взвесей в морской среде и донных отложениях;
- прогноз потерь кормой базы промысловых рыб и беспозвоночных, потери наличной биомассы планктона и бентоса.

Результаты отрицательного воздействия буровых платформ определяются размером ожидаемого ущерба водным биоресурсам в натуральном выражении независимо от уровня их эксплуатации, который может быть вызван:

- полной потерей или снижением рыбопродуктивности водоема (или его части) вследствие ухудшения условий размножения, нагула и зимовки рыб, в частности, вследствие потерь участков местообитания;
- частичной или полной гибелью, или снижением продуктивности кормовых организмов рыб и других объектов промысла;
- непосредственной гибелью рыб и других промысловых объектов на разных стадиях их развития.

Расчет ущерба водным биоресурсам вследствие потерь кормовой базы промысловых объектов выполняется по трем основным компонентам: фитопланктону, зоопланктону и бентосу.

Объем капитальных вложений и эксплуатационных затрат на осуществление компенсационных мероприятий по воспроизводству рыбных запасов, определяется, исходя из величины наносимого ущерба с учетом продолжительности негативных воздействий и времени восстановления биоресурсов.

В настоящей работе рассмотрены основные положения расчета ущерба водным биоресурсам при водозаборе морских нефтегазопромысловых сооружений в соответствии с действующей методикой исчисления размера вреда биологическим ресурсам [29].

### **Контрольные вопросы**

1. Охарактеризовать закономерности поведения рыб в различных условиях.
2. Назвать значение привлекающих скоростей для различных групп рыб.
3. Технологическая схема рыбопропускного шлюза.
4. Перечислить мероприятия, которые выполняют при эксплуатации РЗС.
5. Из каких разделов состоит конструкция по эксплуатации РЗС?
6. Какие недостатки в работе РЗС являются наиболее характерными?
7. Каким образом определяется эффективность РЗС?
8. Какие виды ущерба рыбному хозяйству бывают от гибели рыб при водозаборе?

## ТЕМА 8. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИРОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

### 8.1 Повреждения, аварии ПС

*Аварии ПС* вызывают необходимость *восполнения ущерба*, который определяется *стоимостью сооружения* и других разрушенных объектов.

Согласно данным Международной комиссии по большим плотинам *аварии* происходили по *следующим основным причинам*:

- неправильная оценка грунтов оснований и фундаментальной части сооружений – 55 %;
- недостаточная пропускная способность водосбросов – 23 %;
- низкая прочность конструкций – 14 %;
- другие причины – 8 %.

Ц. Е. Мирцхулава характеризует аварии следующим образом:

- ошибка при проектировании – 40–45 %;
- ошибка при производстве – 20 %;
- нарушение условий эксплуатации – 30 %;
- износ и старение – 5–7 %.

Данные свидетельствуют о том, что основная доля аварий, разрушений приходится на недоучет процессов, происходящих в основании плотин, береговых примыканий, недостаточную изученность гидрологического режима реки, приводящую к занижению расчетного расхода, и потери прочности материала плотины.

Мелкие аварии в мире происходят часто – около трех аварий в год.

В *России крупных аварий* до настоящего времени *не произошло*. В разное время отмечены были незначительные разрушения ограждающей земляной дамбы Каховского водохранилища (произошло сползание низового откоса при заполнении



его водой), разрушение временной дамбы Саргазонского водохранилища, при этом 58 семей остались без крова, разрушились бетонный мост, животноводческая ферма.

Наиболее *крупные аварии* произошли на *арочной плотине* высотой 261,6 м Вайонт в Италии. В водохранилище в течение 20 с обрушился огромный горный массив длиной 2 км, площадью 2 км<sup>2</sup> и объемом 270–300 млн м<sup>3</sup>, при этом горная масса с высокой скоростью проскочила ущелье и поднялась на противоположный склон на 140 м над гребнем плотины, образовалась волна высотой 150 м, однако плотина осталась невредимой. [33]

*Аварии плотин* наносят значительный *ущерб*, который составляет в среднем от 70 до 400 млн долларов в США. *Человеческие жертвы при авариях плотин* составили: Италия (Вайонт) – 3000 чел., Бразилия (Орос) – 1000 чел., Франция (Мальпасе) – 421 чел.

Согласно данным Международной комиссии по большим плотинам надежность *грунтовых плотин* примерно такая же, как у *контрфорсных и арочных*, наиболее часто разрушаются плотины из местных материалов: земляные, каменно-земляные, каменно-набросные плотины. Так 80 % *плотин* разрушилось в процессе строительства или во время *постоянной эксплуатации по причинам перелива воды через гребень, повышенной фильтрации воды в основании или теле плотин*. При этом *повреждения оснований* составляли 25 %, *тела плотин* – 47 %, *водосбросов* – 23 % и *прочего* – 5 %. Другими причинами *повреждения и аварий грунтовых плотин* являются:

- недостаточно надежная система дренажа; эрозия и размывы в результате повышенной фильтрации;
- неравномерность осадок плотины;
- явления микросейма;
- значительные оползневые явления.

На плотине Хелл-Хоул (США) каменно-земляной, с наклонным ядром, высотой 125 м, длиной по гребню 475 м. В период отсыпки плотины был построен туннель диаметром 4 м.

К началу паводка ядро было возведено на 41,5 м ниже, чем призмы плотины. Во время паводка начался перелив через недостроенную плотину, а также и возникла значительная фильтрация через недостроенную плотину и возникла значительная фильтрация сквозь каменную отсыпку. На низовом откосе образовались потоки воды, которые интенсивно начали размывать основание и откос плотины. Через плотину проходил поток расходом 340 м<sup>3</sup>/с, который смыл 535 тыс. м<sup>3</sup> горной массы.

Плотина Гуддах (Индия) грунтовая, высота 29 м, разрушение произошло из-за некачественного примыкания тела плотины к сопрягающей стенке, выполненной из каменной кладки. Из-за появления и развития фильтрации по контакту грунта с каменной кладкой возникла значительная фильтрация, при этом образовалась промоина глубиной 10 м.

Плотина Чир-Юртских ГЭС насыпана из гравийно-галечниковых грунтов из лессовидных суглинков, высотой 37,5 м, длина по гребню 430 м. В условиях эксплуатации была отмечена осадка тела плотины, которая постепенно увеличивалась и через 4 года составляла 70–80 см, затем произошло землетрясение силой 7 баллов и на гребне проявились трещины вдоль оси через всю плотину, их ширина достигала 45–50 см, глубина – 2–3 м. *Разрушения грунтовых плотин свидетельствуют* о том, что опасность возникновения аварии возрастает в следующих случаях: во время паводков и при землетрясениях. В то же время разрушение плотин может быть в ряде случаев предотвращено службой эксплуатации, если своевременно обеспечивать нормальную работу гидромеханического оборудования, поддерживать в надлежащем состоянии водосбросы, срабатывать водохранилище, наблюдать за крутыми склонами, фильтрацией, особенно на контакте бетонных элементов с грунтовой плотиной в ее основании.

К основным причинам аварий и разрушений бетонных плотин относятся: недоучет несущей способности пород основания или неприемлемое распределение усилий на контакте основания с сооружением. Также разрушению способствуют подвижки пород основания, их выветривания, выход и из строя

дренажа, цементационной завесы, повышенная фильтрация в основании и ряд других. Аварии арочных плотин происходят в основном по причине потери несущей способности породы скального основания.

Анализ возможных причин аварии плотины Мальпассе во Франции (высотой 60 м, которая представляла собой тонкую цилиндрическую арку толщиной у основания 6,91 м и у гребня 1,5 м) свидетельствует, что разрушение могло произойти в результате: воздействия сейсмических явлений; осуществления взрывов в связи со строительством автодороги; нарушении правил эксплуатации донного водовыпуска; плохого качества бетонных работ; ошибок в расчете плотины на прочность. Эксперты пришли к заключению, что плотина разрушилась в результате смещения левого берегового устоя, который сдвинулся на 208 см по трещине, недоучета прочности скального основания и ее трещиноватости.

Гравитационная плотина Чиккахоле (Индия) высотой 36,7 м, выполнена из каменной кладки на известковом растворе, водосбросное сооружение представляло собой четырехпролетный водослив с отверстиями по 10 м шириной и 3 м высотой, пропускающими 450 м<sup>3</sup>/с. В результате ливневых дождей возник паводок расходом 1150 м<sup>3</sup>/с, вследствие чего произошел перелив воды через гребень плотины, при этом образовалась промоина глубиной 14,3 м, длиной по гребню 122 м и шириной по дну 26 м.

Контрфорсная плотина Ислам (Индия) с плоскими плитами, высотой 12,2 м над дном реки и 26 м над наиболее низкой точкой зуба имели 67 контрфорсов толщиной по 0,46 м, плоское напорное перекрытие и фундаментальную плиту толщиной 0,31 м. Разрушение произошло в результате размыва грунта под зубом и фундаментной плитой на участке, где зуб не доходил до водопроницаемого грунта основания, что обусловлено некачественными геологическими изысканиями и низким техническим уровнем проекта.

Приведенные примеры аварий, разрушений плотин, а также анализ причин, которые их обусловили вызывают необходимость проведения натурного обследования состояния бетонных плотин, которые должны раз в 4–5 лет осуществляться научно-исследовательскими и проектными институтами.

При эксплуатации водосбросы подвергаются воздействию высокоскоростного потока, который создает значительные гидродинамические нагрузки, зоны пониженного давления, высокую турбулентность потока. Данные явления приводят к снижению устойчивости отдельных элементов сооружений, их вибрации, кавитационной эрозии, местным размывам в нижнем бьефе.

Недоучет или незнание причин их возникновения вызывает повреждения, аварии, а в некоторых случаях катастрофы на гидроузлах, наносящие значительные ущербы. Так на Дубоссарском гидроузле на р. Днестр водосливная плотина состоит из восьми пролетов шириной в свету по 13 м, оборудованных плоскими затворами. При строительстве сооружения были допущены отклонения от проектных показателей; в крайних пролетах (первом и восьмом) не были установлены стопорные рейки, позволяющие открывать затворы частично; крепление за рисбермой было устроено с отклонениями от рекомендаций исследователей. В условиях эксплуатации произошло разрушение крепления из гибких плит и вымыв каменной наброски, за креплением образовалась яма глубиной 8,5 м. Для устранения указанных повреждений был произведен ремонт путем отсыпки камня различной крупности, однако впоследствии размыв продолжался и после проведенных двух ремонтов.

При тщательном изучении причин разрушения нижнего бьефа было установлено, что основными причинами являлись; неудачное конструктивное решение, принятое в проекте, нарушение условий эксплуатации – не работали донные водосбросы, отклонение от проекта при строительстве, неудачная схема маневрирования затворами в условиях эксплуатации

плотимы. Вышеизложенное свидетельствует о том, что на данном гидроузле имел место комплекс технических отклонений, который привел к неоднократным разрушениям концевого участка крепления нижнего бьефа.

На водосливной плотине Красноярской ГЭС возникли повреждения, которые находились в конце носка-трамплина за третьим и пятым отверстиями водослива, бетон разрушился в зоне деформационных швов; площадь каверны составила 3 м<sup>2</sup>, глубина – 0,5 м.

Предположительно, причиной разрушений явилось низкое качество бетонных работ, а также необоснованный подбор состава бетона для защиты поверхности от воздействия высокоскоростного потока.

К причинам разрушения водобойных колодцев относятся: кавитационная эрозия; потеря устойчивости плит под воздействием гидродинамических сил; истирание наносами и попадание в них камней; бетонного крупного мусора; металлических и железобетонных предметов и др. Иногда камни в колодцы заносятся водоворотами при разрушении элементов крепления. Разрушения водобойных колодцев могут возникать при больших скоростях лотка (до 50–55 м/с), вызывающих большие гидродинамические нагрузки, в сочетании с механическим воздействием оторвавшихся бетонных массивов и мусора, что имело место на Саяно-Шушенской ГЭС [33].

Причинами повреждений затворов гидротехнических сооружений являются недоучет при проектировании особенностей работы затворов, обмерзания, образование наледей, неправильные приемы эксплуатации, технологические причины и др. Так, при неправильной эксплуатации механического оборудования плотина Паншет (Индия) высотой 56,6 м с открытым береговым водосбросом произошла авария. В период интенсивных дождей щит затвора был введен в пазы и подвешен на цепях в положении, когда закрытие затвора составляло 0,61 м. В этих условиях пропуск воды сопровождался значительными гидравлическими ударами, в результате которых деформировались швы в водосбросе. Динамические нагрузки и

деформации швов привели к интенсивным осадкам тела грунтовой плотины, и в результате плотина осела за 2,5 ч на 1,37 м и разрушилась.

Практика эксплуатации свидетельствует, что иногда в условиях паводка затворы невозможно было поднять, при этом возникали переливы через гребень, и соответственно происходило разрушение плотины.

При эксплуатации открытых водосбросов Красноярской ГРЭС возникла необходимость пропуска льда при условиях поддержания высоких уровней воды в водохранилище для гарантированной подачи воды в водозаборы, расположенные в верхнем бьефе. Пропуск льда осуществляли по верх нижних секций верховых ремонтных заграждений, которые размещались на пороге водослива перед ледоходом. С нарастанием паводка воду пропускали, маневрируя основными затворами и, вытаскивая ремонтные заграждения. При такой схеме эксплуатации возникли значительные динамические воздействия льда на ремонтные и основные затворы. В проекте не предусматривался такой режим работы затворов, поэтому они получили значительные повреждения, и даже один затвор был разрушен. Закладные части также имели повреждения

Во время эксплуатации механического оборудования не всегда принимаются своевременные меры: по обогреву, воздухообуду, потокообразованию, сколу льда перед затворами, которые предотвращают статическое давление ледяного поля на затворы при его температурном расширении. По этой причине затворы могут быть разрушены затворы.

Значительное намерзание льда на металлоконструкции затворов, примерзание затворов к закладным частям не позволяет производить аварийное открытие отверстий водосброса. При попытке поднять примерзание затворы приводит к выходу из строя механизмов привода, уплотнений, повреждению опорно-ходовых частей затворов. Причинами повреждения и аварии затворов могут быть недостаточная квалификация эксплуатационного персонала, незнание особенностей конструкции и условий эксплуатации механического оборудования.

Аварии и повреждения других сооружений могут быть различными. Так в нижнем бьефе за трамплином водосброса Чиркейской ГЭС в русло реки обрушилось около 300 тыс. м<sup>3</sup> скального грунта. Причиной обрушения явилась потеря устойчивости в результате обводнения массива при работе водосброса. В этом случае резко поднялся уровень воды в нижнем бьефе, были затоплены два нижних яруса галерей плотины, на этом же гидроузле вблизи плотины обрушилось несколько неустойчивых скальных блоков (до 1,5–2 тыс. м<sup>3</sup>), подтопленных в период наполнения водохранилища.

На горных реках, для которых характерно большое количество наносов, повреждения водопропускных трактов возникают в результате истирания бетона и динамического воздействия на него крупных наносов, гальки, булыжника и т. п. В этом случае может происходить также повреждение, что имело место на Сары-Курганском водозаборном узле, где под действием крупнопесчаных и галечниковых наносов размером до 300–350 мм повредился водослив водосбросного сооружения, состоящего из шести водосбросных отверстий. Бетонная поверхность, облицованная гранитным булыжником разрушилась в первый год эксплуатации на глубину 1,2 м. В отдельных местах водослив был покрыт листами металла толщиной 25 мм, на водобое были установлены рельсы через 1 м с заполнением пространства между ними бутобетоном. При прохождении паводка были разрушены рельсы с бутобетоном и покрытия из металлических листов. Впоследствии водослив покрыли настилом из рельсов и швеллеров и к ним приварили листовую сталь толщиной 25 мм.

## 8.2 Причины повреждений ПС

В процессе эксплуатации ПС возникает необходимость проведения ремонтно-восстановительных работ по устранению повреждений и разрушений как сооружения, так и его элементов [33].

При эксплуатации грунтовых водоподпорных сооружений возможны следующие виды работ:

- досыпка гребня, тела плотины до проектных отметок;
- досыпка суглинка на верховой откос с целью его кольматации;
- заделка поперечных, продольных трещин, пустот;
- ремонт креплений откосов, одерновки, посева трав;
- обрушение, сползание откосов;
- ликвидация крупногабаритных промоин;
- заделка глубоких трещин;
- устранение деформаций;
- проведение противофильтрационных мероприятий;
- устройство дренажа.

Повреждения дренажных систем грунтовых сооружений подразделяются на следующие виды:

- повреждения дренажа грунтовых плотин;
- повышение кривой депрессии с выклиниванием ее на поверхность низового откоса;
- нарушения работы обратных фильтров, уложенных на дне и откосах каналов;
- выход из строя дренажных скважин;
- заиливание дренажных систем.

Разрушение бетонных гидротехнических сооружений происходит в результате:

- физико-химической, физико-механической коррозии;
- кавитационных воздействий;
- местных деформаций;
- истирания насосами, крупногабаритными предметами;
- ударов.



Повреждения представляют собой раковины, выбоины, скалы, трещины, эрозионные впадины.

*Работы по устранению местных повреждений* подразделяются на следующие *циклы*: подготовку бетонной поверхности для ремонта, приготовления бетонной смеси, бетонирование и уход за бетоном.

*Опыт эксплуатации водосбросных гидротехнических сооружений свидетельствует*, что наиболее часто подвергаются разрушению устройства нижнего бьефа. Правильно выявленные причины разрушения позволяют составить обоснованный проект ремонтных работ.

Основными причинами разрушения устройств нижнего бьефа являются:

- повышение гидродинамической нагрузки;
- неправильная эксплуатация (маневрирование затворами);
- попадание на водобой бетонных массивов продуктов скальных обрушений;
- некачественное выполнение бетонных работ;
- несовершенство конструкции;
- преждевременный пуск сооружения в эксплуатацию;
- непредвиденные явления.

Основными причинами повреждения туннельных сооружений являются низкое качество проектов и недостаточный уровень производства подземных работ. К ним относятся следующие:

- раскрытие швов в обделках из-за неправильно выбранных расчетных схем;
- появление крупных трещин в обделках туннелей длиной до 40 м из-за недоучета неравномерности горного давления;
- недопустимое истирание обделок наносами из-за некачественного прогноза износа и низкой прочности бетона;
- повреждения бетонной обделки (каверны, вымоины, ямы, свищи, раковины) глубиной до 60 см и более;

– не устранение источников фильтрации из туннеля на период его эксплуатации;

– дефектам, вызванным нарушением технологических процессов (не заделанные пустоты за обделкой, значительный разрыв во время проведения заполнительной цементации после выполнения бетонных работ, усадочные явления, преждевременный пуск в эксплуатацию до набора необходимой прочности бетона, нарушение технологии сварочных работ).

Во время эксплуатации сооружений гидромелиоративных систем возникают следующие повреждения:

– трещины, раковины, выбоины, скалы углов и граней, шелушение поверхности;

– выход из строя швов и нарушение гидроизоляции;

– разрушение отдельных блоков, плит крепления;

– потеря устойчивости блоков и плит;

– выход из строя мостов;

– нарушение нормативной работы гидромеханического оборудования;

– образование воронок местного размыва, промоин;

– отложение в бьефах наносов и зарастание растительностью;

– появление фильтрации под сооружениями, в обход их или через грунтовые плотины и дамбы;

– нарушение облицовок, покрытий.

### **8.3 Организация, проведение натуральных наблюдений и исследований за состоянием ПС**

Для оценки работы природоохранных сооружений в условиях эксплуатации проводят наблюдения и исследования специальных вопросов, которые в дальнейшем позволят вносить коррективы при принятии конструктивных проектных решений, методов производства работ предотвращать аварийные ситуации.

Натурные наблюдения и исследования сооружений проводятся в период возведения сооружений и их эксплуатации. Различают эксплуатационные наблюдения, исследования специальных вопросов и пусковые испытания.

*Эксплуатационные наблюдения* проводят для оперативного контроля работы и состояния гидротехнических сооружений.

*Исследования специальных вопросов* представляют проверку правильности принятых проектных решений и предпосылок, уточнения теоретических положений и совершенствования методик моделирования на основе введения корректив по натурным данным. Также они предназначены для выявления дефектов, допущенных при проектировании или строительстве, и факторов, требующих усиленного контроля в дальнейшем.

Согласно рекомендациям Гидропроекта по проведению наблюдений и исследований на высоконапорных гидроузлах следует осуществлять комплексные натурные исследования, состав которых приведен в таблице 8.1 позволяющие получить достаточную информацию о взаимодействии потока с элементами сооружений, включая характеристики общей гидравлики, гидродинамики, кавитации, вибрации, аэрации и др. Это позволит судить о работе сооружения по комплексу данных с учетом времени наработки сооружения [33].

Таблица 8.1 – Классификация и характеристика натурных наблюдений и исследований (по данным Гидропроекта)

Виды	Назначение	Задачи	Область применения
1	2	3	4
Пусковые	Контрольные наблюдения	Сравнение фактических характеристик водосбросных сооружений с проектными. Разработка и уточнение инструкций по временной постоянной эксплуатации.	Строительство и эксплуатация водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования.

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4
Эксплуатационные	То же	Контроль надежности водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования	То же
Диагностические	Специальные исследования	Выявление причин отклонения контролируемых параметров водосбросных сооружений и их оборудования от нормативных значений. Разработка мероприятий по обеспечению эксплуатации водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования с учетом фактора времени.	Модельные исследования, проектирование, строительство и эксплуатация водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования.
Методические	То же	Разработка и усовершенствование методов расчета и моделирования водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования	То же
Исследование новых конструкций водосбросных сооружений	То же	Разработка и внедрение новых конструкций водосбросных сооружений и их гидромеханического оборудования	То же

С этой целью разрабатывают проект натуральных наблюдений, который включает следующие, разделы:

- программу наблюдений с изложением цели, задач, состава, объема, методики, указанием сроков, номенклатуры и технических характеристик контрольно-измерительной аппаратуры;

- общие схемы и рабочие чертежи размещения и монтажа КИЛ в сооружении, отдельных элементах;

- инструкцию по установке КИА, вторичных приборов, вспомогательного оборудования;
- смету на проведение наблюдений, приборы, обработку и анализ результатов.

Номенклатуру, число приборов и их местоположение в теле сооружения, его отдельных элементах назначают исходя из состава задач и объема наблюдений и исследований, при этом следует стремиться к автоматизации проведения и обработки всех наблюдений [33].

В проект вносят требования по периодичности проведения, обработке и систематизации натуральных наблюдений за работой и составлением сооружения, его основания, как в период строительства, так и в период эксплуатации.

Финансирование натуральных исследований обеспечивается в строительный период средствами, предусмотренными проектом; после строительства – средствами, выделенными на эксплуатацию сооружений или целевого назначения.

После завершения проведенных наблюдений, исследований осуществляют обработку полученных результатов. Обработка результатов исследований может быть оперативная и комплексная.

Оперативная обработка выполняется непосредственно во время исследований и служит для получения информации и использования ее непосредственно в процессе эксплуатации сооружения или принятия срочных мер по устранению повреждений или разрушений.

*Комплексная обработка*, проводится научно-исследовательскими организациями для принятия мер и составления рекомендаций по улучшению работы сооружений, корректировке условий эксплуатации, определения необходимости и объемов ремонтно-восстановительных работ.

Материалы исследований после обработки представляют в виде отчетов с выводами и рекомендациями дирекции или управлению эксплуатации гидроузла.

Полученные результаты натурных наблюдений и исследований в дальнейшем могут быть использованы для обеспечения надежности сооружений на стадии проектирования, строительства и эксплуатации.

При *решении* задач данного направления выделяют *следующие этапы*:

- сбор сведений об авариях и повреждениях плотин, выявление их причин, статический анализ с позиций теории надежности для установления критерии оценки надежности сооружений, их отдельных элементов и оборудования;

- получение достоверных исходных данных для проектирования инженерно-геологических и гидрологических условий строительства, физико-механических характеристик грунтов основания и карьерных материалов;

- расчетное и экспериментальное обоснование основных проектных решений с учетом реальных условий строительства эксплуатации сооружения, т. е. широкое использование модельных исследований, в том числе метода центробежного моделирования, разработку все более совершенных методов расчета напряженно-деформированного состояния и устойчивости плотин с использованием ЭВМ, разработку методов прогноза трещинообразования в ядрах и экранях из глинистых грунтов и др.;

- обеспечение в процессе строительства надежного гидротехнического контроля качества материала, укладываемого в сооружение, и систематических контрольных наблюдений за состоянием сооружения, особенно в начальный период эксплуатации, с целью выявления дефектов и своевременного проведения в необходимых случаях ремонтных работ;

- обследование состояния старых плотин, включающее в необходимых случаях проходку контрольных скважин и шурфов с отбором образцов грунта и определением его физико-механических характеристик, и разработка рекомендаций по их дальнейшей эксплуатации.

## **Контрольные вопросы**

1. Привести примеры и причины аварий грунтовых плотин.
2. Указать причины повреждений и аварий бетонных сооружений.
3. Каковы наиболее характерные повреждения механического оборудования?
4. Какие причины способствуют разрушению устройств нижнего бьефа?
5. Перечислить причины повреждений туннельных сооружений.
6. Какие причины обуславливают повреждения на гидротехнических сооружениях ГТМ?
7. В чем заключается организация и проведение наблюдений и исследований за состоянием ПС?
8. Укажите основные положения повышения надежности ПС.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование, направленность «Инженерные системы сельскохозяйственного водоснабжения, обводнения и водоотведения».

В данном учебном пособии приведены сведения по эксплуатации систем и сооружений водоотводящих, противозрозионных, противопаводковых, руслорегулирующих и водоотводящих природоохранных сооружений. Рассмотрены вопросы эксплуатации рыбопропускных и рыбозащитных сооружений. Дана методика и организация наблюдений за грунтовыми природоохранными сооружениями. Уделено внимание безопасности, надежности, долговечности и экономичности работы систем.

Пособие может быть использовано для повышения квалификации и подготовки работников в сфере водохозяйственной деятельности.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О безопасности гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: федер. закон РФ № 117-ФЗ от 23 июня 1997 г. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12100061>.
2. Сборник действующих общесоюзных и ведомственных нормативных документов по мелиорации земель, водохозяйственному и сельскохозяйственному строительству, используемых при экспертизе проектов по состоянию на 01.01.1990 Часть 2. Нормы проектирования. – М. : Росоргтехводстрой, 1990. – 148 с.
3. СНиП 3.07.02-87. Гидротехнические морские и речные транспортные сооружения // Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 1998. – 68 с.
4. Пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения». Оценка гидравлической эффективности и эксплуатационной надежности оросительных каналов. – М. : ООО «Эдель-М», 1998. – 96 с.
5. СНиП 3.01.01-85\*. Организация строительного производства // Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – 56 с.
6. СНиП 3.07.04-85. Гидротехнические сооружения речные // Госстрой России. – М. : ГУП ЦПП, 1998. – 28 с.
7. Рекомендации по проведению натурных наблюдений и исследований креплений откосов грунтовых сооружений и береговых склонов. П74-2000/ВНИИГ. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2000.
8. Рекомендации по проведению обследований ГТС с целью оценки их безопасности. П92-2001/ВНИИГ. – СПб., 2001.
9. Рекомендации по проведению визуальных наблюдений и обследований на грунтовых плотинах. П72-2000/ВНИИГ. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева», 2000.
10. Гидротехнические сооружения (Справочник проектировщика) / Г. В. Железняков, Ю. А. Ибад-Заде, П. Л. Иванов [и др.]; под общ. ред. В. П. Недриги. – М. : Стройиздат, 1983. – 543 с.

11. Рекомендации по диагностическому контролю фильтрационного режима грунтовых плотин. П71-2000.ВНИИГ. – СПб., 2000.

12. Рекомендации по наблюдениям за напряжено-деформированным состояние бетонных плотин П100-81 ВНИИГ. – Л. : ВНИИГ, 1982. – 143 с.

13. Рекомендации по анализу данных и контролю состояния водосбросных сооружений и нижних бьефов гидроузлов. П-75-2000.ВНИИГ. – СПб. : ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденева», 2000.

14. Пособие по составлению раздела проекта (рабочего проекта). «Охрана окружающей природной среды». К СНиП 1.02.01-85. Госстрой СССР. – М., 1989.

15. Мазур И. И. Курс инженерной экологии / И. И. Мазур, О. И. Молдаванов. – М. : Высш. шк., 1999.

16. Кавешников Н. Т. Эксплуатации и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М. : В.О. Агропроиздат, 1989.

17. Михеев П. А. Защита молоди рыб при водозаборе / П. А. Михеев. – Новочеркасск : НГМА, 2004.

18. Натальчук М. Ф. Эксплуатация гидромелиоративных систем / М. Ф. Натальчук, В. П. Ольгаренко, В. И. Сурин. – М. : Колос, 1995.

19. Каганов Г. М. Гидротехнические сооружения / Г. М. Каганов, И. С. Румянцев. – М. : Энергоатомиздат, 1994.

20. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения / В. Н. Шкура. – Новочеркасск : НГМА, 1998.

21. Ольгаренко В. И. Защита компонентов природной среды от негативного воздействия КДВ / В. И. Ольгаренко, Т. И. Морозова, В. И. Коржов. – Новочеркасск : НГМА, 2003.

22. Ремонт железобетонных плит и их стыковых соединений (на мелиоративных каналах) / В. И. Ольгаренко, В. М. Коржов, И. И. Зеников [и др.] –Новочеркасск : НГМА, 2003.

23. Ольгаренко В. И. Эксплуатация природоохранного сооружения (пруда-накопителя) / В. И. Ольгаренко, Т. И. Морозова. – Новочеркасск : НГМА.

24. Мирцхулава Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава. – М., 1974.

25. Белов В. А. Противофильтрационные мероприятия на малых водоемах / В. А. Белов. – Ростов н/Д : СКНЦВШ, 2000.

26. Фильтрация из водохранилищ и прудов / под ред. Н. М. Веригина. – М. : Колос, 1975.

27. Михеев П. А. Рыбозащитные сооружения и устройства / П. А. Михеев. – М. : Изд-во «Рома», 2000.

28. Михеев П. А. Рыбоотводы гидротехнических сооружений / П. А. Михеев, А. И. Перелыгин. – Ростов н/Д : ФГБОУ ВПО НГМА, 2014.

29. Михеев П. А. Защита рыб на водозаборах морских нефтегазопромысловых сооружений / П. А. Михеев, С. Н. Салиенко. – Новочеркасск : НИМИ ФГБОУ ВО ДГАУ, 2016.

30. Шкура В. Н. Рыбопропускные сооружения / В. Н. Шкура. – М. : Изд-во «Рома», 1999.

31. Михеев П. А. Защита молоди рыб при водозаборе / П. А. Михеев. – Новочеркасск : НГМА, 2004.

32. Чистяков А. А. Конструкция рыбоходов / А. А. Чистяков. – Новочеркасск : Новочеркасская государственная мелиоративная академия, 2006.

33. Морозова Т. И. Эксплуатация природоохранных сооружений / Т. И. Морозова. – Новочеркасск : НГМА, 2007. – 110 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ТЕМА 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРУКТУРА СЛУЖБЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ И МОНИТОРИНГА СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ .....	4
1.1 Современное состояние водных объектов и эксплуатационные мероприятия, направленные на их улучшение .....	4
1.2 Организация, структура и задачи службы эксплуатации, контроль, надзор за эксплуатацией сооружений .....	6
1.3 Условия работы ПС .....	12
1.4 Факторы, определяющие надежность, прочность, долговечность и устойчивость сооружений. Структура и организация ремонтно-восстановительных работ.....	14
ТЕМА 2. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДОХРАНИЛИЩ, ПРУДОВ ...	18
2.1 Виды и задачи службы эксплуатации .....	18
2.2 Режим эксплуатации водохранилищ .....	19
2.3 Эксплуатационные природоохранные мероприятия..	22
2.4 Наблюдения на водохранилищах .....	27
ТЕМА 3. ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ГРУНТОВЫМИ ПРИРОДООХРАННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ .....	31
3.1 Виды натуральных наблюдений .....	31
3.2 Визуальные наблюдения .....	31
3.3 Инструментальные методы технической диагностики .....	33
3.4 Организация проведения наблюдений и оценка состояния сооружений .....	40

ТЕМА 4. НАБЛЮДЕНИЯ ЗА БЕТОННЫМИ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМИ ПРИРОДООХРАННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ.....	50
4.1 Цель и задачи натурных наблюдений.....	50
4.2 Визуальные наблюдения.....	51
4.3 Организации и состав наблюдений с применением контрольно-измерительной аппаратуры .....	52
4.4 Анализ состояния сооружения поданным наблюдений .....	64
ТЕМА 5. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИРОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИИ .....	67
5.1 Организация работ по контролю состояния водопроводящих сооружений.....	67
5.2 Виды ледовых образований, методы борьбы с ними .....	76
5.3 Пропуск льда, шуги, плавающих тел через суженные русла .....	80
5.4 Наблюдения за размывами, ледоходом, порядок маневрирования затворами.....	85
ТЕМА 6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПОДПЕРТЫХ БЬЕФОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ЗАИЛЕНИЮ И ЗАРАСТАНИЮ.....	91
6.1 Условия заиления бьефов .....	91
6.2 Эксплуатационные условия проведения промывок бьефов .....	94
6.3 Особенности зарастания бьефов .....	99
6.4 Эксплуатационные мероприятия, направленные на борьбу с обрастанием .....	100
ТЕМА 7. ЭКСПЛУАТАЦИЯ РЫБОПРОПУСКНЫХ И РЫБОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....	104
7.1 Закономерности поведения рыб.....	104

7.2 Эксплуатационный режим рыбопропускных устройств .....	106
7.3 Организация технического обслуживания РЗС .....	110
7.4 Эксплуатационный режим РЗС .....	114
7.5 Оценка рыбозащитной эффективности РЗС .....	117
7.6 Эксплуатация рыбозащитных комплексов.....	124
7.7 Состояние эксплуатации рыбозащитных сооружений и устройств .....	125
7.8 Вопросы эксплуатации рыбозащитных сооружений и рыбоотводов .....	131
7.9 Эксплуатация рыбозащитных устройств и оценка ущерба морским биоресурсам .....	137
7.10 Общие рекомендации по эксплуатации РЗУ водозаборов морских платформ .....	139
7.11 Методика расчета ущерба морским биоресурсам ..	140
<b>ТЕМА 8. АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРИРОДООХРАННЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....</b>	<b>144</b>
8.1 Повреждения, аварии ПС .....	144
8.2 Причины повреждений ПС .....	152
8.3 Организация, проведение натурных наблюдений и исследований за состоянием ПС .....	154
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>160</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>161</b>

Учебное издание

**Ванжа** Владимир Владимирович

# **ЭКСПЛУАТАЦИЯ И МОНИТОРИНГ СИСТЕМ И СООРУЖЕНИЙ**

*Учебное пособие*

В авторской редакции  
Компьютерная верстка – Н. А. Иванов  
Дизайн обложки – О. М. Ленчевская

Подписано в печать 28.11.2018. Формат 60 × 84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.

Усл. печ. л. – 9,7. Уч.-изд. л. – 7,6.

Тираж 500 экз. Заказ № 795-70

Типография Кубанского государственного аграрного университета.  
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13