

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГНУ «РосНИИПМ»)

УДК 626/627.001.25

В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов,
Г. Л. Лобанов, Е. А. Савенкова, А. М. Кореновский

**НАДЕЖНОСТЬ И БЕЗОПАСНОСТЬ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
МЕЛИОРАТИВНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Научный обзор

Новочеркасск 2011

Содержание

Введение	3
1 Анализ нормативно-технической документации, законодательной базы, методической и технической литературы в области эксплуатации ГТС мелиоративного назначения.....	8
2 Составные части и особенности системы эксплуатации ГТС	14
3 Метод расчета надежности сооружений и оценка риска аварий....	40
4 Проблемы надежности эксплуатации ГТС	64
5 Теоретические основы и практика эксплуатации ГТС.....	78
6 Анализ качественных и количественных показателей надежности работы мелиоративных ГТС	80
7 Обобщение опыта эксплуатации ГТС мелиоративного назначения	94
Заключение	100
Список использованной литературы.....	101

Введение

В водохозяйственном комплексе страны важное место занимают водохозяйственные объекты и гидротехнические сооружения, находящиеся в ведении Минсельхоза России.

По данным Мелиоративного Кадастра, общее количество гидротехнических сооружений на мелиоративных системах и отдельно расположенных гидротехнических сооружений составляет 1 млн 918 тыс. шт., в том числе на Госсистемах – 282 тыс. шт., из них в федеральной собственности – 58 тыс. шт., в собственности субъектов Федерации – 224 тыс. шт. Количество отдельно расположенных гидротехнических сооружений составляет 10 % от их числа. В соответствии с Водной стратегией, обеспечение надежности и безопасности является основной проблемой, относящейся к эксплуатирующимся сооружениям.

К настоящему времени срок эксплуатации большинства сооружений составляет от 30 до 50 и более лет, который является предельным для такого класса сооружений. Ввиду длительного срока работы, многие из ГТС требуют реконструкции, ремонта или модернизации. По предварительным оценкам, общее количество таких гидротехнических сооружений составляет более 60 %.

При этом потенциально опасных напорных сооружений насчитывается 250 сооружений. В их числе: 44 водохранилища (объемом более 10 млн м³), 105 (объем от 1 до 10 млн м³) и 101 пруд (объем менее 1 млн м³).

Кроме того, в ведении Минсельхоза России находится 2,2 тыс. ед. регулирующих гидроузлов, 3,3 тыс. ед. защитных сооружений, межрегиональные водные тракты, обеспечивающие сельскохозяйственное водоснабжение многих населенных пунктов.

По техническому состоянию эти сооружения оцениваются как не вполне удовлетворительные и неудовлетворительные (аварийные).

По безопасности ГТС характеризуются неудовлетворительным и опасным (критическим) уровнем безопасности [1-4].

Только по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам особо потенциально опасных ГТС насчитывается 135 сооружений.

Такое техническое состояние и уровень безопасности ГТС является следствием неудовлетворительной организации системы их технической эксплуатации, которое включает следующие виды работ: технический осмотр и наблюдение за состоянием ГТС, техническое обслуживание конструкций и оборудования, своевременные текущие ремонты (плановые и неплановые), своевременные капитальные ремонты.

Современная нормативно-техническая документация по правилам эксплуатации устарела («Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных ГТС» действуют с 1998 года, остальная нормативно-техническая база выпущена гораздо ранее) и требует обновления и переработки.

Существующие правила по эксплуатации и проведению мониторинга не отвечают современным требованиям, не позволяют оценить количественно техническое состояние, уровень эксплуатационной безопасности ГТС. В этом заключается основная проблема существующей системы эксплуатации ГТС, без решения которой повышение надежности и безопасности ГТС мелиоративного назначения не представляется возможным. Однако определенные шаги в этом направлении делаются на основе вновь принятого федерального закона № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [5], который предполагает введение новой системы стандартизации на основе технических регламентов, сводов правил, стандартов организации. Эти документы на основе принципа добровольного применения будут устанавливаться:

- комплекс технических, организационных и хозяйственных требований, обеспечивающих содержание в исправном и безопасном состоянии отдельно расположенных ГТС;
- выполнение гидротехническими сооружениями технологических

задач (их потребительской ценности);

- формы и способы оценки технического состояния и уровня безопасности ГТС.

Своды правил являются составной частью национальной системы стандартизации Российской Федерации [6, 7] и должны быть направлены на повышение надежности и безопасности ГТС и основываться на современных достижениях науки, техники и технологий эксплуатации. Без выполнения этих требований переход к более низкой ступени стандартизации представляется невозможным.

Каждое ГТС должно обладать научно обоснованными эксплуатационными качествами:

- соответствовать назначению по размерам, инженерному оборудованию, пропускной способностью, выполнению защитных функций, т.е. удовлетворять функциональным требованиям;

- обладать требуемой прочностью, устойчивостью, надежностью (комплексное свойство, определяемое следующими показателями: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью), т.е. удовлетворять техническим требованиям;

- быть экономичными при эксплуатации, т.е. удовлетворять экономическим требованиям;

- отвечать экологическим и эстетическим требованиям.

Нарушение или отсутствие хотя бы одного из параметров, входящих в эти требования, снижает потребительскую ценность сооружения, повышает риск аварии при эксплуатации, снижает уровень его надежности и безопасности.

Для эффективного использования ГТС они должны быть всегда в исправном состоянии. Процессы, связанные с поддержанием ГТС в исправном состоянии [8-12], обеспечиваются техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) или технической эксплуатацией. Техническое обслуживание и ремонт ГТС представляет собой непрерывный динамический процесс, реализацию комплекса организационных и технических мер по надзору (монито-

рингу), техническому обслуживанию, уходу и всем видам ремонта. Для поддержки их в исправном состоянии, годным к использованию, в течение заданного срока службы обеспечивается службой эксплуатации.

Исследованиями надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения занимались многие ученые. Передовыми исследованиями в этой области можно считать целый ряд фундаментальных работ акад. Ц. Е. Мирцхулавы (1974, 1981, 1985). Им еще в начале 70-х годов впервые заложены основы теории надежности ГТС мелиоративного назначения, которые базируются на теории вероятностей, теории случайных процессов и общей теории надежности технических систем.

Дальнейшее развитие методы оценки надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения получили в трудах В. С. Алтунина, Т. А. Алиева, В. Л. Бондаренко, В. А. Волосухина, Е. Л. Галямина, В. М. Лятхера, И. А. Долгушева, П. В. Иванова, Л. Н. Картвелишвили, Т. П. Кашариной, П. И. Коваленко, А. В. Колганова, Ю. М. Косиченко, А. А. Коршикова, П. А. Михеева, И. И. Науменко, М. Ф. Натальчука, В. Л. Ольгаренко, Ю. Л. Полякова, С. С. Савватеева, В. А. Солнышкова, Н. И. Хрисанова, В. Н. Щедрина, В. Л. Шкуры и др.

В настоящее время получены значительные результаты по оценке надежности различных частей и элементов сооружений, разработаны основные критерии надежности водохозяйственных систем и гидросооружений.

Расчет, проектирование и создание ГТС с позиции теории надежности, как правило, включает (Ц. Е. Мирцхулава, 1985): определение требований к надежности ГТС с технических и экономических позиций; разработку и обоснование единичных и комплексных количественных и качественных показателей надежности, установление оптимальных эксплуатационных режимов для достижения заданной надежности; создание эффективных систем сбора, анализа и обобщения различных видов информации о надежности объекта в условиях эксплуатации; определение количественных показателей, разработку методов обобщения результатов испытаний на надежность объектов и его элементов; вероятностно-статистическое

изучение закономерностей возникновения и развития отказов, методов их обнаружения, устранения и прогнозирования; построение и проверку адекватности реальным условиям моделей наиболее частых отказов; обоснование системы рациональных методов технической диагностики состояния объекта, а также способов отыскания его неисправностей, исследование связи между показателями надежности, экономичности и эффективности обоснование способов повышения надежности объектов при их проектировании и создании; изучение влияния надежности на эффективность эксплуатации объектов; разработку рациональных методов профилактических работ при эксплуатации.

Перечисленный круг задач, который возникает при оценке надежности любых технических систем и особенно таких сложных систем, как гидротехнические сооружения мелиоративного назначения и средств для автоматизации управления водораспределением, свидетельствует о необходимости дальнейшего всестороннего изучения различных аспектов работоспособности этих систем.

В данном аналитическом обзоре рассматриваются методы оценки эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения. Приводятся пути повышения их надежности и безопасности.

В работе обобщены как результаты ранее известных исследований других авторов, так и собственные исследования, выполненные на протяжении последних двадцати лет сотрудниками ФГНУ «РосНИИПМ». Рассмотрение отдельных глав составлено на основании натуральных наблюдений по отказам ГТС мелиоративного назначения.

Целью научного аналитического обзора является обобщение теоретических предпосылок и практического опыта проектирования, строительства и эксплуатации ГТС мелиоративного назначения с целью повышения их надежности и безопасности.

1 Анализ нормативно-технической документации, законодательной базы, методической и технической литературы в области эксплуатации ГТС мелиоративного назначения

При эксплуатации ГТС мелиоративного назначения используется следующая правовая база: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ «О мелиорации земель»; Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании»; Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений»; Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»; ГОСТ 19185-73 Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения [13-15].

Гидротехнические сооружения – основные элементы любой мелиоративной системы. С их помощью аккумулируется и подается вода на оросительную систему, обеспечивается ее заданный эксплуатационный режим: водоподача и водораспределение, водорегулирование, отвод излишков воды, сопряжение водоводов различной конструкции и т.д. В соответствии с Федеральным законом «О мелиорации земель», к ним относятся инженерные сооружения и устройства, обеспечивающие регулирование, подъем, подачу, распределение воды потребителям, отвод воды с помощью мелиоративных систем, защиту почв от водной эрозии, противоселевую, противопаводковую и противооползневую защиту. К таким сооружениям относятся: водозаборные гидроузлы, гидротехнические сооружения по транспортировке, регулированию и сбросу воды, насосные станции, малые водохранилища и пруды, гидротехнические сооружения защиты территорий и объектов.

В основу разработки новых нормативно-методических документов должна быть положена надежность их эксплуатации [16-20].

Надежность ГТС должна рассматриваться не только в зависимости от его прочности и устойчивости, но также с точки зрения возможности поддерживать в течение всего срока службы, предусмотренного для этого сооружения, условий для нормальной эксплуатации. Безопасность экс-

плуатации – одно из важных требований, предъявляемых к сооружению. Однако расчеты критериев безопасности и надежности строительных конструкций остаются пока специфическими и не регламентируются нормами СНиП.

Основные факторы, влияющие на надежную работу отдельных элементов и ГТС в целом, могут быть условно разбиты на три основные группы: проектные, строительные и эксплуатационные. Случаи проявления дефектов конструкций и даже аварий сооружений, учитываемые теперь в наиболее развитых странах мира, показывают, что наибольшее значение для надежной работы сооружений имеет высокое качество производства работ по строительству ГТС. В таблице 1 представлены данные по случаям аварий значительных повреждений сооружений в России и причины низкой надежности.

Таблица 1 – Данные по случаям значительных аварий ГТС

Причины низкой надежности:	Число аварий и дефектов сооружений, %
Проектирования	13
Строительства	69
Эксплуатации	18

Анализ данных таблицы показывает, что наибольшее число аварий и дефектов происходит от качества работ и качества используемых материалов и конструкций при строительстве.

Исследованные отечественными учеными (Ц. Е. Мирцхулава, В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов и др.) причины появления дефектов сооружений и снижения их надежности в процессе проектирования, возведения и эксплуатации позволяют указать основные факторы, влияющие на надежность сооружений [4, 16-19]:

- недостаточный учет конкретных условий производственной среды и эксплуатационных факторов при проектировании;
- отсутствие экспериментальных данных о фактических темпах износа и действительных физико-механических свойствах некоторых строительных материалов в период эксплуатации;

- низкий производственный уровень контроля качества сырья и материалов, поступающих на заводы строительной индустрии, нарушение режима изготовления изделий;

- отсутствие надлежащего авторского надзора за качеством производства работ;

- нарушение технических условий при производстве строительных работ;

- отступление от проектных решений;

- отклонение или неправильная установка элементов при монтаже, некачественное выполнение стыков, отсутствие монтажных связей;

- несоблюдение технических условий производства работ в зимнее время;

- коррозия металлических деталей и металла стыков, образование трещин в железобетонных элементах (особенно для объектов, которые долгое время находились в ряду незавершенных);

- отсутствие должной системы планово-предупредительных ремонтов эксплуатируемого сооружения;

- возраст сооружения, большие износы основных конструкций;

- нарушение правил эксплуатации.

Необходимо отметить, что результаты исследований надежности сооружений не позволяют выявить основные закономерности для прогнозирования долговечности сооружений. Основой современной теории надежности является статистический подход к изучению таких событий, как отказ и восстановление.

Проблема рациональной эксплуатации сооружения является одной из важнейших проблем эксплуатирующих организаций. Поддержание сооружения в исправном состоянии и пригодном для использования их по назначению является основной задачей эксплуатационных служб [20, 21].

Важность, сложность и актуальность технической эксплуатации ГТС заключается в следующих ее особенностях:

- осуществляется весьма длительное время (по сравнению с проектированием и возведением), – десятки и сотни лет, – что требует четкого предвидения перспективы и преемственности эксплуатационной службы;

- имеет уникальный характер с периодичностью различных мероприятий от 3-х до 6-ти лет для текущего ремонта и 30 лет для капитального ремонта, что усложняет планирование и производство работ;

- носит (в частности, ремонт) часто случайный вероятностный характер по месту, объему и времени выполнения работ, что затрудняет их планирование; требует от руководителей и исполнителей оперативной корректировки планов выполнения ремонтных работ;

- затрагивает интересы всего населения или его части, т.е. носит социальный характер;

- связана с большими затратами средств, увеличивающимися с течением времени, что обусловлено постоянным физическим износом, требует привлечения все новых сил и средств для осуществления технического обслуживания и ремонта (ТОиР);

- для особо ответственных объектов (инженерные защитные сооружения, водозаборы и т.д.), отличающихся жесткой системой профилактики износа, исключающей выход их из строя, требуется умение заранее рассчитывать износ и планировать профилактические работы по месту, объему и времени, предлагать рациональные (эффективные) технические решения их производства, вовремя обеспечивать материалами и трудовыми ресурсами.

Каждое сооружение возводится для выполнения определенных функций и поэтому должно обладать заданными эксплуатационными качествами. Широкое понятие «строительство» включает в себя проектирование, возведение, техническое обслуживание, ремонт и реконструкцию. Каждому из этих этапов присущ свой круг задач, но все они имеют общую цель – обеспечение нормативных значений параметров эксплуатационных качеств (ПЭК). Решение этих задач на каждом этапе взаимосвязано:

как запроектировано и построено сооружение, таковы условия и проблемы его эксплуатации. В свою очередь, опыт использования и содержания построенных ГТС, а также опыт их эксплуатации должны обязательно изучаться и анализироваться для совершенствования проектирования, строительства и эксплуатации создаваемых ГТС. Взаимосвязь и преемственность между проектированием, возведением и технической эксплуатацией мелиоративных сооружений осуществляется благодаря параметрам эксплуатационных качеств (ПЭК), которые заложены в стандартах, на основании которых разрабатывается (был разработан) проект сооружений и материализуются (были материализованы) в ходе строительства.

Параметры эксплуатационных качеств – это научно обоснованные значения параметров, определяющие надежность работы сооружений и безопасность при условии выполнения работ по их техническому обслуживанию и ремонту. ПЭК подразделяются на 2 группы: I группа характеризует физико-технические параметры сооружений, т.е. технические качества; II – технологические параметры, т.е. функциональное назначение.

Основными руководящими документами при эксплуатации мелиоративных сооружений должны быть стандарты организаций по эксплуатации и, конкретно для каждого сооружения, инструкции по эксплуатации. Для каждого сооружения должен быть определен перечень контролируемых диагностических критериев надежности (безопасности), их количественные значения и уровень риска аварий.

Структура службы эксплуатации должна обеспечивать условия выполнения сооружениями оптимальных технологических функций, надежность их работы и нормальный уровень безопасности.

В соответствии с федеральным законом 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [14], обеспечение безопасности ГТС осуществляется на основании следующих общих требований:

- обеспечение допустимого уровня риска аварий гидротехнических сооружений;

- представление декларации безопасности гидротехнических сооружений;
- должна быть непрерывность эксплуатации сооружений;
- должны постоянно осуществляться мероприятия по обеспечению безопасности сооружений;
- должны быть установлены критерии их безопасности, оснащение сооружений техническими средствами для постоянного контроля их состояния;
- служба эксплуатации должна быть укомплектована работниками необходимой квалификации;
- ответственность службы эксплуатации за действия (бездействия), которые повлекли за собой снижение безопасности ниже допустимого уровня;
- должно быть достаточное финансирование мероприятий по обеспечению безопасности сооружений;
- обеспечение современной организации системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР).

Основными причинами аварий являются: неудовлетворительное техническое состояние сооружений и низкий уровень эксплуатации, дефекты при строительстве, неправильная оценка размеров паводков, ошибки при проектировании. Нередко причиной аварий становилось пренебрежение владельцами сооружений принципами приоритетного финансирования мероприятий, направленных на обеспечение безопасности при эксплуатации ГТС. На многих объектах возрос риск аварий в связи с потерей собственника, или имеющих несостоятельного собственника (банкрота).

Увеличение количества аварий ГТС и значительно возросшая вероятность аварии отечественных напорных гидротехнических сооружений требуют разработки механизма получения обоснованных оценок и критериев безопасности таких объектов с учетом всей совокупности социально-

экономических факторов, в том числе, вероятности и последствий возможных аварий.

Требования к необходимости проведения анализа риска аварий содержатся в следующих основополагающих документах:

- Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [14];

- Постановление Правительства РФ от 16 октября 1997 г. № 1320 «Об организации государственного надзора за безопасностью гидротехнических сооружений»;

- Постановление Правительства РФ от 23 мая 1998 г. № 490 «О порядке формирования и ведения Российского регистра гидротехнических сооружений»;

- Постановление Правительства РФ от 06 ноября 1998 г. № 1303 «Об утверждении Положения о декларировании безопасности гидротехнических сооружений».

Современные Российские нормативные документы по гидротехническому проектированию и строительству (СНиПы, СП, СН и др.) не дают ответа на вопросы, связанные с оценкой риска аварий. Необходима разработка соответствующих дополнений и методик по основным критериям надежности и безопасности с учетом требований международных норм. При этом в полной мере должны учитываться региональные особенности и использоваться отечественные научные достижения.

2 Составные части и особенности системы эксплуатации ГТС

Техническая эксплуатация сооружений (техническое обслуживание и ремонт) – это научно обоснованный комплекс технических мер и ремонтных процессов по месту, времени и объему работ, направленных на поддержание в них эксплуатационных качеств на заданном уровне в течение не менее установленного срока службы.

Эксплуатационные качества сооружений определяют его надеж-

ность. Известно, что техническое состояние сооружений оценивается путем проведения эксплуатационных наблюдений, обследований и определения действительных параметров эксплуатационных качеств (ПЭК). Сравнивая действительные параметры эксплуатационных качеств, риск аварии, с нормативными, определяется физический износ и техническая надежность сооружений, т.е. техническое состояние, и принимаются соответствующие решения.

Если действительные значения ПЭК и значения риска аварий не отвечают нормативным требованиям, то это свидетельствует о повышенной опасности возникновения аварийных ситуаций. Дальнейшая эксплуатация сооружений в проектном режиме по условиям риска аварий и значениям ПЭК недопустима и должна осуществляться в режиме, обеспечивающем безопасную их работу. Эксплуатацию сооружений организует эксплуатационная служба объекта, и осуществляют ее эксплуатационные и ремонтно-восстановительные группы. Задача эксплуатационной службы и групп, каждого их руководителя и исполнителя – поддерживать сооружения в исправном состоянии, пригодном для использования по назначению. Служба эксплуатации, отвечающая за сохранность сооружений, должна обладать достаточными эксплуатационными знаниями и навыками.

Общий перечень контролируемых технологических и технических показателей сооружений при эксплуатации следующий:

- гидравлические показатели: расход (пропускная способность), гидравлический перепад, напор, скорость потока, шероховатость, уклон, гидравлический режим работы;

- технические показатели: надежность (комплексное свойство, характеризующееся безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью), прочность (в том числе фильтрационная), устойчивость, морозостойкость, водопроницаемость и т.д.;

- конструктивные показатели: тип сооружения, конструкция входной, выходной и водопроводящей частей и их техническое состояние;

- технико-экономические показатели по ГТС.

Системой эксплуатации определяется следующий обязательный перечень технической документации для каждого ГТС:

- техническое описание, рабочие чертежи (ТО);
- технический паспорт (ТП);
- стандарт предприятия или инструкция по эксплуатации конкретного сооружения;
- служебные и технические журналы;
- графики технического обслуживания и ремонта оборудования и приборов;
- графики технических осмотров;
- проект мониторинга;
- декларация безопасности (по необходимости для крупных сооружений создающий напорный фронт, магистральных каналов и т.п.);
- отчетная документация по всем видам ремонтов.

Взаимосвязь и преемственность между проектированием, возведением и технической эксплуатацией осуществляется благодаря параметрам эксплуатационных качеств (ПЭК). Из этого следует, что нормативные значения ПЭК сооружений являются научной основой всех трех звеньев: строительства, проектирования и эксплуатации (система ТОиР) сооружений. В соответствии с составными частями системы технической эксплуатации разрабатываются действия службы эксплуатации, в том числе – и в нештатном режиме.

На рисунке 1 представлена организационно-структурная модель технической эксплуатации, где показаны все этапы жизненного цикла ГТС мелиоративного назначения. На рисунке 2 представлена структурная схема организации эксплуатации ГТС мелиоративного назначения, обеспечивающая их надежную и безопасную работу.

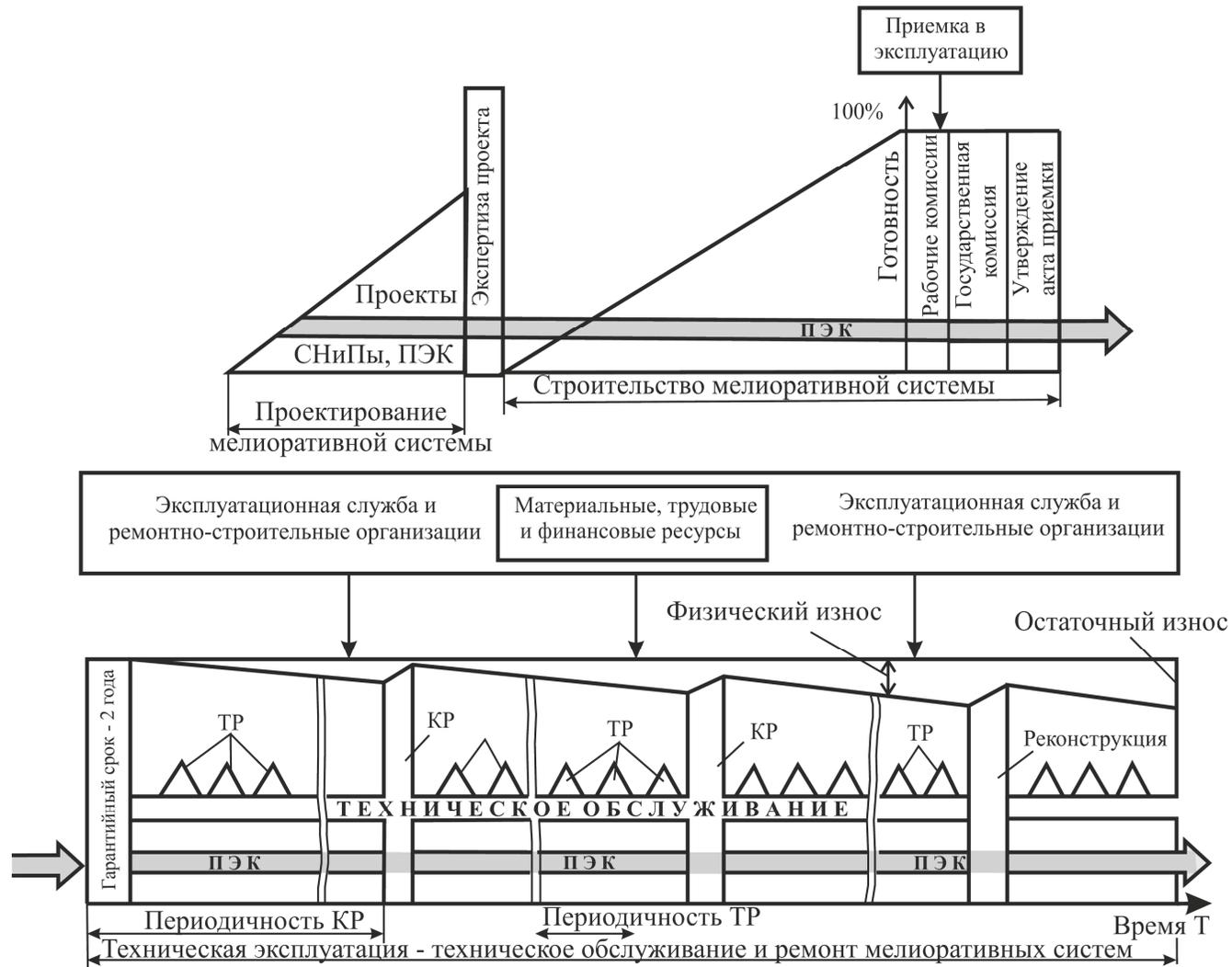


Рисунок 1 – Организационно-структурная модель технической эксплуатации ГТС мелиоративного назначения



Рисунок 2 – Схема организации эксплуатации ГТС мелиоративного назначения

Основная задача службы эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративного назначения заключается в рациональном управлении их работой, обеспечении исправного (работоспособного) технического состояния и нормального уровня безопасности в течение нормативного срока службы (жизненного цикла).

По функциональному назначению мелиоративные ГТС подразделяются на: водоподпорные, водозаборные, водоводы, водопропускные, водосбросные, сопрягающие, регулирующие, защитные, специальные и относятся к основным и постоянным сооружениям.

При эксплуатации мелиоративных ГТС должны выполняться следующие виды работ: технологическое обслуживание (включая технические осмотры, обследования, режимные наблюдения); техническое обслуживание и ремонт.

Технологическое обслуживание должно быть направлено на эффективное использование мелиоративных ГТС по назначению (т.е. выполнение ими функциональных требований), обуславливающих их пригодность удовлетворять потребности пользователя с максимальной эффективностью.

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) должны быть направлены на поддержание ГТС мелиоративного назначения в исправном состоянии, на производство текущих и капитальных ремонтов, обеспечивающих безотказное функционирование сооружений в требуемом режиме с нормальным уровнем безопасности.

На стадии эксплуатации должно осуществляться управление технологическим и техническим обслуживанием.

Для эффективного функционирования и улучшения работ по эксплуатации мелиоративных ГТС необходимо наличие требуемого количества следующих ресурсов: трудовых, инфраструктуры, материально-технических, соответствующей производственной среды, информации, поставщиков и партнеров, природных и финансовых ресурсов. Управление

ресурсами осуществляется с помощью применения позиций ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 9004.

Персонал, выполняющий работу по обеспечению функционирования сооружений, должен быть полностью укомплектован техническими средствами для производства ремонтных работ, компетентен в сфере полученного образования, подготовки, навыков и практического опыта.

Инфраструктура, включающая вспомогательные и основные средства производства, должна быть направлена на эффективное функционирование сооружений.

Материально-техническое обеспечение включает мероприятия по планированию, своевременному и комплексному обеспечению материально-техническими ресурсами гидротехнических сооружений, необходимых для поддержания их в работоспособном состоянии.

Материально-техническое обеспечение должно осуществляться с учетом:

- выбора наиболее экономичной формы материалодвижения;
- оптимизации запасов и снижения складских расходов;
- уровня изменения цен на материальные ресурсы и услуги посреднических организаций при выполнении ремонтных работ;
- обязательного контроля движения и расходования материально-технических ресурсов.

Производственная среда должна обеспечивать рациональное и эффективное (безвредное и безопасное) выполнение трудовых процессов.

Ресурсная информация, к которой относятся национальные стандарты, своды правил, стандарты организаций, инструкции по эксплуатации, процедурная документация, эксплуатационные данные о техническом состоянии и уровне безопасности ГТС, необходима для своевременного принятия технических и технологических решений, обеспечивать стимулирование нововведений и их безотказную работу с нормальным уровнем безопасности.

Эксплуатация ГТС может осуществляться несколькими организациями, в связи с этим для повышения эффективности их работы по технологическому и техническому обслуживанию, организациям необходимо установить взаимодействие с поставщиками и партнерами для облегчения обмена информацией и получения услуг на основании заключенных договоров.

При эксплуатации необходимо учитывать наличие на объектах природных ресурсов (строительных материалов, водных ресурсов и т.д.), которые можно использовать при выполнении технологического и технического обслуживания с целью предотвращения и минимизации негативного воздействия природных и техногенных факторов.

При эксплуатации особое внимание должно уделяться управлению финансовыми ресурсами, которое включает планирование, рациональное и эффективное их использование и контроль их движения.

Технологическое обслуживание должно определяться назначением мелиоративных сооружений. При технологическом обслуживании реализуются следующие задачи:

- использование ГТС с целью предоставления услуг пользователям в режиме оптимизации и полного соответствия выполнения ими функциональных требований;
- эксплуатационный контроль работы ГТС (обследование, технические осмотры, режимные наблюдения);
- руководство и управление технологическими (функциональными) процессами.

При технологическом обслуживании по видам услуг мелиоративные ГТС в общем случае должны обеспечить требуемый гидравлический напор; допустимые потери воды на фильтрацию и испарение; выполнение заявок по водоподаче; требуемую пропускную способность; расчетное (проектное) сопряжение бьефов; защиту почв от водной эрозии; защиту территории от селей, затопления и оползневых явлений (обеспечение во-

доотвода открытой и дренажной системами); требуемую устойчивость и прочность (в т.ч. фильтрационную) в соответствии с проектными данными.

Эксплуатационный контроль должен осуществляться с целью получения информации о фактическом функциональном состоянии сооружений.

Эксплуатационный контроль производится по следующим показателям:

- действующему напору;
- пропускной способности;
- условиям сопряжения бьефов;
- коэффициенту полезного действия;
- параметрам сооружений (геометрические размеры, прочность, устойчивость);
- по параметрам надежности;
- режиму грунтовых вод.

Эксплуатационный контроль сооружений должен включать:

- получение первичной информации о фактическом выполнении ими функциональных и технических требований;
- сравнение первичной информации с заранее установленными (проектными) требованиями, нормами, параметрами и получение вторичной информации о расхождении фактических данных с проектными.

Сбор первичной информации должен проводиться по данным натуральных инструментальных наблюдений и должен включать:

- количественные показатели, определяющие функциональное назначение;
- количественные показатели контролируемых нагрузок и воздействий на сооружение;
- количественные показатели контролируемых параметров эксплуатационных качеств (ПЭК);
- количественные показатели риска аварии, критериев диагностических показателей безопасности сооружения и его основания;

- количественные и качественные показатели технического состояния сооружений;
- программу и состав обследований, инструментальных и визуальных наблюдений;
- технические условия и чертежи на установку контрольно-измерительной аппаратуры;
- спецификацию измерительных приборов и устройств (при их наличии);
- эксплуатационную документацию на контрольно-измерительную аппаратуру (КИА) (при их наличии);
- данные системы мониторинга состояния элементов ГТС, природных и техногенных воздействий на них.

Количественные показатели первичной информации ГТС повышенного и нормального уровня ответственности должны определяться по данным КИА, инструментальных обследований с помощью автоматизированной системы обработки данных.

Для ГТС с нормальным уровнем ответственности при отсутствии КИА, количественные показатели контролируемых параметров определяются при проведении преддекларационных обследований, а в период эксплуатации, при отсутствии деструктивных процессов, – по данным визуальных и инструментальных обследований методом экспертных оценок.

Для сооружений инженерной защиты (противоэрозионные, противоселевые, противопаводковые, противооползневые) дополнительно должны проводиться обследования и контроль состояния территории опасной зоны.

Первичная и вторичная информация должна заноситься в отчеты и использоваться как исходная для выработки соответствующих управленческих решений при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Руководство и управление технологическими процессами осуществляется с учетом требований ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 14001.

Эффективное функционирование мелиоративных ГТС должно обеспечиваться выполнением следующих основных требований:

- установление ответственности службы эксплуатации ГТС;
- управление документацией, относящейся к ГТС;
- управление показателями надежности эксплуатации ГТС;
- управление технологическими процессами, обеспечивающее ГТС;
- осуществление контроля и проведение внутренних аудитов;
- проведение корректирующих воздействий;
- использование статистических методов.

При проведении технического обслуживания и ремонта мелиоративных ГТС должны решаться следующие задачи:

- проведение мероприятий по восстановлению (улучшению) их качественного технического состояния;
- проведение технического обслуживания элементов и сооружений в целом;
- производство ремонтов элементов и сооружений в целом;
- руководство и управление системой ТОиР.

Мероприятия по восстановлению качественного технического состояния сооружений производятся при снижении основных функциональных и технических показателей и должны быть направлены на:

- снижение потерь при фильтрации и испарении;
- повышение КПД;
- снижение уровня грунтовых вод;
- повышение параметров надежности работы сооружений;
- обеспечение нормального работоспособного состояния и нормального уровня безопасности.

Техническое обслуживание должно состоять из проведения мероприятий, обеспечивающих поддержание конструктивных элементов и со-

оружий в целом в работоспособном состоянии и ликвидацию выявленных незначительных дефектов, неисправностей ГТС.

Техническое обслуживание должно также включать консервацию сооружений, гидромеханического и электротехнического оборудования на зимний период и расконсервацию их при подготовке к работе в вегетационный период.

Мероприятия по техническому обслуживанию ГТС должны осуществляться с учетом эксплуатационной документации (по ГОСТ 2.601), а также требований по техническому состоянию и правил безопасной эксплуатации, установленных государственными нормативно-техническими документами.

Производство ремонтов конструктивных элементов и сооружений заключается в поддержании и восстановлении первоначальных параметров эксплуатационных качеств ГТС, отдельных его конструктивных элементов и частей должно осуществляться проведением комплекса технических мероприятий по их ремонту. В соответствии с ГОСТ 18322-78 выполняются следующие виды ремонтов:

- текущий;
- капитальный;
- аварийный.

К текущему ремонту гидротехнических сооружений относятся работы по устранению небольших повреждений и неисправностей, проводимые регулярно в течение года, как правило, без прекращения работы по специальным графикам. Затраты на текущий ремонт не должны превышать 20 % от первоначальной балансовой стоимости ремонтируемого объекта.

К капитальному ремонту относятся работы, при проведении которых полностью или частично восстанавливаются ГТС, конструктивные элементы и части, осуществляется замена их на более прочные и экономичные. Стоимость капитального ремонта не должна превышать 50 % первоначальной балансовой (восстановительной) стоимости ремонтируемого объ-

екта. При превышении 50 % балансовой стоимости объект подлежит реконструкции или восстановлению.

Повреждения аварийного характера должны устраняться в первоочередном порядке.

Собственники ГТС должны постоянно иметь в доступных местах возобновляемый аварийный запас строительных материалов.

При проведении капитальных ремонтов обязательно предварительное составление проектно-сметной документации.

В соответствии с Федеральным законом «О мелиорации земель», финансирование ремонтно-эксплуатационных работ (включая расходы на проектно-изыскательские работы) должно осуществляться за счет средств федерального бюджета – для ГТС федеральной собственности; за счет средств бюджета субъектов Российской Федерации и местных бюджетов – для ГТС соответствующей собственности; за счет средств собственников – для ГТС общего и индивидуального пользования.

Производство приемки ремонтных капитальных работ осуществляется в соответствии с действующим законодательством, а текущих ремонтов – комиссией, назначаемой собственником сооружений.

В соответствии с требованиями Федерального Закона № 117 от 23 июня 1997 г. (ст. 9), для сооружений повышенного уровня ответственности, повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций (к таким сооружениям относятся сооружения инженерной защиты, создающие напорный фронт, магистральные каналы) должен проводиться мониторинг технического состояния и безопасности.

Мониторинг должен проводиться с целью:

- постоянного контроля показателей работы сооружений, технического состояния и безопасности;
- регистрации всех случаев отказов в работе, их частоты, интенсивности и среднего значения времени между соседними отказами (наработки на отказ);

- проведения мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности;
- установления конкретного места, времени и причины, характеристики отказа и размера причиненных повреждений;
- установления времени на обнаружение повреждений и начала выполнения ремонтных работ и время их проведения;
- определения трудоемкости, затрат материалов, деталей и денежных средств на устранение повреждения.

Мониторинг должен предусматривать целенаправленные исследования эксплуатационной надежности (обеспечение безотказной работы, а также минимальных затрат времени и средств на техническую эксплуатацию сооружений) путем решения следующих задач:

- определения конструктивных элементов, надежность которых не удовлетворяет требованиям эксплуатации, и уровень надежности сооружения в целом;
- разработки нормативов периодичности и объема ремонтов, а также норм продолжительности проведения работ;
- определения показателей безотказности и ремонтпригодности гидротехнических сооружений.

Контроль безопасности ГТС в период эксплуатации должен осуществляться путем комплексных инструментальных и визуальных натурных наблюдений за критериями диагностических показателей безопасности.

В течение всего периода эксплуатации ГТС эксплуатирующая организация должна обеспечивать поддержание в исправном состоянии технические средства (КИА) контроля состояния сооружения. Вышедшая из работы КИА подлежит замене на новую.

Мониторинг безопасности и комплексные натурные наблюдения ГТС должны проводиться персоналом необходимой квалификации, аттестованным на проведение данного вида работ. Для проведения указанных работ могут привлекаться специализированные организации.

Основной задачей, ставящейся перед службой технической эксплуатации гидротехнических сооружений любого типа и назначения, является контроль их работы, безопасного состояния и обеспечения их работы в необходимом режиме, своевременного принятия мер по предупреждению и устранению дефектов, выявления причин нарушения нормального функционирования сооружения и его элементов, изложенные в пособиях к СНиП [20] и указаниях по эксплуатации межхозяйственных оросительных каналов и сооружений [21]:

- постепенный износ (физическое старение, амортизация) и моральный износ сооружений и оборудования;
- воздействие стихийных и чрезвычайных факторов, которые не могли быть предусмотрены проектом (исключительный паводок, сверхнеобычный ледоход и др.);
- неправильные действия эксплуатационного персонала (несвоевременное открытие затворов, подъем воды сверхпредельных уровней, перелив воды через стенки и т.п.).

Нарушения нормального функционирования сооружения могут быть незначительными или мелкими, не вызывающими серьезного расстройства в работе и подлежащими немедленному устранению и крупными, вызывающими значительное сокращение эффекта работы и даже полное ее прекращение, т.е. аварийное состояние сооружения, ликвидация которого требует проведения серьезных ремонтно-восстановительных работ.

На всех гидротехнических сооружениях должны проводиться контрольные натурные наблюдения с целью систематического надзора за их состоянием, своевременного выявления дефектов в работе, назначения ремонтных мероприятий, предотвращения аварий и ухудшения условий эксплуатации.

В основных документах Службы эксплуатации должны быть установлены следующие нормы и требования:

- к организации мониторинга гидротехнических сооружений в период эксплуатации;
- к составу контролируемых диагностических показателей сооружений и критериям их безопасности;
- к составу инструментальных и визуальных натуральных наблюдений за сооружениями в период эксплуатации;
- к оснащению гидротехнических сооружений техническими средствами контроля их состояния;
- к периодичности регулярных натуральных наблюдений (мониторинга) сооружений;
- к методам обработки и анализа, данных мониторинга, оценке технического состояния сооружений;
- к использованию данных мониторинга гидротехнических сооружений в практике их эксплуатации;
- к объемам и формам контроля сооружений со стороны собственника (эксплуатирующей организации), включая:
 - а) внешние нагрузки и воздействия на сооружения;
 - б) фильтрационный режим сооружений и основания;
 - в) осадки и горизонтальные смещения сооружений;
 - г) напряженно-деформированное состояние сооружений и несущих элементов;
 - д) качество работы дренажных устройств и противофильтрационных элементов сооружений и основания;
 - е) температурный режим сооружений и основания;
 - ж) поровое давление в глинистых элементах грунтовых плотин и основания;
 - и) воздействие льда, наносов, размывов в нижнем бьефе.

ФГНУ «РосНИИПМ» предлагается плановая система технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Система ТОиР – комплекс плановых организационных, технико-экономических и технологических мероприятий

для поддержания или восстановления научно обоснованных проектных параметров эксплуатационных качеств (ПЭК), отдельных звеньев, оборудования и сооружений в целом, с целью обеспечения их надежности и качественного функционирования в течение заданного срока их службы. В положении о системе ТОиР сооружения подвергаются периодическим техническим осмотрам, проводимым комиссиями, специально назначаемыми руководителями учреждений (собственником). Установлено три вида осмотров:

- общий, или сезонный (полугодовой), когда обследуется все сооружение, его конструкции, оборудование, благоустройство;
- частичный, при котором осматриваются лишь отдельные части сооружений;
- внеочередной (внеплановый), проводимый после стихийных бедствий – ураганов, наводнений, ливней и т.п., а также по указанию вышестоящих организаций.

По результатам осмотров составляется акт технического осмотра и дефектная ведомость по выявленным дефектам и повреждениям на сооружении. При техническом осмотре по необходимости приводятся инструментальные обследования для более достоверного определения технического состояния сооружения.

Техническое обслуживание должно проводиться постоянно, с постоянной периодичностью, начиная с момента ввода системы в эксплуатацию. Периодичность технического обслуживания (ремонта) – это интервал времени или наработки между данным видом технического обслуживания (ремонта) и последующим таким или другим видом обслуживания.

При техническом обслуживании особое внимание уделяют участкам и элементам сооружений, которые часто подвергаются повреждениям и находятся в тяжелых эксплуатационных условиях. Системой технического обслуживания и ремонта предусматриваются следующие виды ремонтов: текущий, капитальный и аварийный.

Текущий ремонт – категория планового ремонта, включающая комплекс организационных, технико-экономических и технологических мероприятий для поддержания научно обоснованных проектных параметров мелиоративных сооружений, отдельных его звеньев и оборудования.

К текущему ремонту относятся ремонтные работы по систематическому и своевременному предохранению сооружений от преждевременного износа путем проведения профилактических мероприятий и устранения небольших повреждений и неисправностей.

Текущий ремонт проводится, если его стоимость составляет 20 % от первоначальной балансовой стоимости ремонтируемого объекта на открытой оросительной сети и до 15 % на закрытой оросительной сети и гидротехнических сооружениях; для большинства элементов систем он проводится ежегодно, а на некоторых элементах периодичность текущего ремонта составляет 3-5 лет [21].

Значительная часть текущего ремонта выполняется без остановки работы мелиоративной системы.

Капитальный ремонт – категория планового ремонта, включающая комплекс организационных, технико-экономических и технологических мероприятий для полного или частичного восстановления научно обоснованных проектных технических параметров мелиоративной сети, отдельных ее звеньев, сооружений и оборудования или замены их на более прочные и экономичные, полностью отвечающие конечной цели понятия «ремонт ГТС».

К капитальному ремонту относятся работы по восстановлению крупных повреждений, полной или частичной замене оборудования или отдельных узлов новыми, более совершенными, с обязательным улучшением их технико-экономических показателей и условий их эксплуатации.

Капитальный ремонт проводят, если его стоимость составляет 20-50 % от первоначальной балансовой стоимости объекта с периодичностью, которая зависит от типа конструкции и назначения объекта и колеб-

летя от 6 до 30 лет. Решение о проведении капитального ремонта принимается специальными комиссиями, которые назначаются руководителями соответствующих водопользователей после проведения ими осмотра мелиоративных сооружений и оборудования и выбора объектов для ремонта, с последующим оформлением материалов в соответствии с требованиями имеющихся нормативных документов.

Капитальный ремонт при незначительных объемах проводят по утвержденным сметам. Если же в процессе капитального ремонта изменяются отдельные конструкции объекта или осуществляется сложный ремонт, то разрабатывается проектно-сметная документация с учетом современных научно-технических достижений на хоздоговорных началах.

Капитальный ремонт может быть комплексным или выборочным. Комплексный ремонт охватывает все элементы сооружения, подлежащие капитальному ремонту, поэтому сооружения выключают из работы. При выборочном ремонте ремонтируют отдельные элементы сооружения. Чаще всего выполняют выборочный капитальный ремонт. Для каждого сооружения капитальный ремонт имеет свои особенности, поэтому выполняют его по специальным проектам, составленным по материалам изысканий и производственных исследований. Капитальный и текущий ремонты выполняют по графику как планово-предупредительные. Примерные периодичности ремонтных работ и сроки службы элементов мелиоративных систем приведены в таблице 2. Одновременно с проведением капитального ремонта и за счет тех же средств допускается устройство дополнительных объектов (конструкций), необходимость в которых выявлена в процессе эксплуатации и направленных на повышение эффективности использования ГТС, технического уровня и эксплуатационной надежности сооружений [1, 22].

В тех случаях, когда осуществляется ремонт крупных (сложных) объектов или объектов, находящихся в сложных инженерных и гидрогеологических условиях, разрабатывается проект производства работ, необхо-

димось которого определяется организацией-исполнителем за счет накладных расходов и утверждается руководителем данной организации. Для разработки проекта могут привлекаться проектные организации.

Таблица 2 – Примерные сроки службы и периодичности ремонтных работ на сооружениях мелиоративных систем

Наименование элементов мелиоративных систем	Средний срок службы	Примерная периодичность ремонтов, лет	
		капитального	текущего
1	2	3	4
Магистральные оросительные каналы:			
земляные без облицовки	100	10	5
облицованные камнем, бетоном и железобетоном	100	10	5
Межхозяйственная оросительная сеть:			
земляные каналы без облицовки	40	10	3
каналы, облицованные бетоном и железобетоном	50	6	3
из железобетонных лотков	25	6	3
из железобетонных труб	50	6	3
из асбестоцементных труб	40	6	3
из стальных труб	30	6	3
Гидротехнические сооружения на каналах: шлюзы-регуляторы, мосты-водоводы, перепады, быстротоки, консольные перепады, водосливы каменные, бетонные, железобетонные:			
межхозяйственные	40	6	3
внутрихозяйственные	30	6	3
Гидротехнические деревянные сооружения на межхозяйственных каналах	10	6	3
Внутрихозяйственная оросительная сеть:			
земляные каналы без облицовки	40	10	5
каналы, облицованные камнем, бетоном и железобетоном	30	6	3
из железобетонных лотков	25	6	3
из асбестоцементных труб	40	8	3
из стальных труб	25	6	3
из полиэтиленовых труб	30	6	3
из железобетонных труб	50	10	5
из гибких переносных шлангов	5	-	-
Открытая коллекторно-дренажная и водосбросная сеть без облицовки	50	15	3
Закрытая коллекторно-дренажная сеть из труб:			
асбестоцементных	30	20	5
гончарных	60	15	3
полиэтиленовых	30	15	5
Система лиманного орошения	40	10	3
Дренаж гидромелиоративный горизонтальный:			

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
гончарный в минеральных грунтах	60	15	5
гончарный в торфяниках	45	8	3
пластмассовый	30	7	3
дощатый, хворостяной	15	7	3
щелевой, кротовый	4	-	-
дренаж вертикальный	25	10	5
Внутрихозяйственные оросительные каналы:			
В земляном русле	30	10	5
облицованные железобетоном и бетоном, камнем	30	6	3
трубопроводная (закрытая) и лотковая (железобетонная) сеть с арматурой	25	6	3
Межхозяйственные осушительные каналы:			
в минеральных суглинистых грунтах	50	10	5
в торфяных и легких минеральных грунтах	40	8	3
Внутрихозяйственные осушительные каналы без крепления:			
в минеральных суглинистых грунтах	30	10	5
в торфяных и легких минеральных грунтах	30	8	3
тоже с креплением (в том числе одернованные)	30	10	5
Системы двустороннего действия	30	8	3
Водоприемники осушительных систем:			
в минеральных грунтах	60	10	5
в торфяных грунтах	40	10	5
дюкеры железобетонные, перепады и быстротоки	40	10	5
перегораживающие сооружения регуляторы-водо выпуски	40	8	3
трубы-ливне выпуски	40	7	3
гидропосты, водосливы, водомерные створы и оборудование	10	2	1

Производство ремонтных работ осуществляется в соответствии с детальными календарными планами, составленными организациями-исполнителями, в которых также предусматривается поступление материалов, деталей и конструкций.

До начала строительства на объекте должно быть не менее 20-25 % от общей потребности материалов.

Организация ремонтных работ должна осуществляться с максимальным применением механизмов и сборных конструкций и деталей, с обеспечением высокой производительности труда и возможно мини-

мальной стоимости работ. При этом следует максимально использовать средства малой механизации.

Ремонтные работы проводятся в строгом соответствии с действующими правилами техники безопасности, охраны труда, производственной санитарии и правил противопожарной охраны.

При производстве ремонтных работ следует руководствоваться действующими техническими условиями, нормативными документами, инструкциями и указаниями на производство строительных работ.

Для определения перечня объектов, подлежащих ремонту, а также видов и объемов ремонтных работ выполняются обследования (технические осмотры) сооружений специальной комиссией эксплуатационной службы (укомплектованными специалистами высокой квалификации); обследования производятся сезонные и нормативные в зависимости от функционального назначения.

Повреждения, которые могут вызвать аварийное состояние оросительного канала или сооружения (просадка дамб канала, трещины, размыв сооружения и др.), устраняют немедленно после обнаружения силами эксплуатационной организации. Для этого формируют аварийные бригады.

При выполнении аварийных ремонтов составляют специальные акты.

Одной из основных задач службы инженерной эксплуатации гидротехнических сооружений является достоверная оценка их надежности в данное время и прогнозирование ее на будущий период.

Для достоверной оценки надежности гидротехнических сооружений должно быть введено систематическое наблюдение за качеством их эксплуатации, за сбором и обобщением данных о работе отдельных элементов и регистрацией их технического состояния в специальных журналах.

Важным моментом при эксплуатации является определение технического состояния ГТС и уровня безопасности; определение их физического и морального износа, как в количественной, так и в качественной оценке.

Одними из оценочных критериев являются ремонтпригодность и эргономичность – приспособленность ГТС для обслуживания. В более широком смысле эргономика – область науки, исследующая человека и его деятельность в условиях производства с целью улучшения орудий, условий и процесса труда.

Основными критериями приспособленности для обслуживания ГТС являются время, трудоемкость, ремонтпригодность, численность и профессионализм эксплуатационной службы, качество и надежность технического обслуживания и ремонта.

Определяющим признаком эксплуатации ГТС и приспособленности к обслуживанию является время. Именно время служит основным критерием для разработки эксплуатационных требований функционирования ГТС. Невыполнение ГТС заданных функций в установленное время является причиной материальных убытков и их не надежности в работе. Высокая трудоемкость при эксплуатации показывает на неприспособленность объекта к технологическому обслуживанию, требует больших затрат времени и трудовых ресурсов. Схемы реализации ТОиР при текущем и капитальном ремонтах показаны на рисунках 3, 4. Пример порядка обследования состояния безопасности ГТС и контролируемые дефекты представлены на рисунке 5.

Ремонтные работы на ГТС должны проводиться при наличии утвержденной проектно-сметной документации или расчетных описей работ.

Устранение таких недостатков возможно при комплексной механизации и автоматизации технологических процессов и автоматизации управления ГТС, что обеспечит высокую степень приспособленности обслуживания. Модель системы эксплуатации, технического ремонта и обслуживания, эксплуатационные характеристики ГТС мелиоративного назначения представлены на рисунке 6.



Рисунок 3 – Схема реализации системы ГОиР при текущем ремонте гидротехнических сооружений

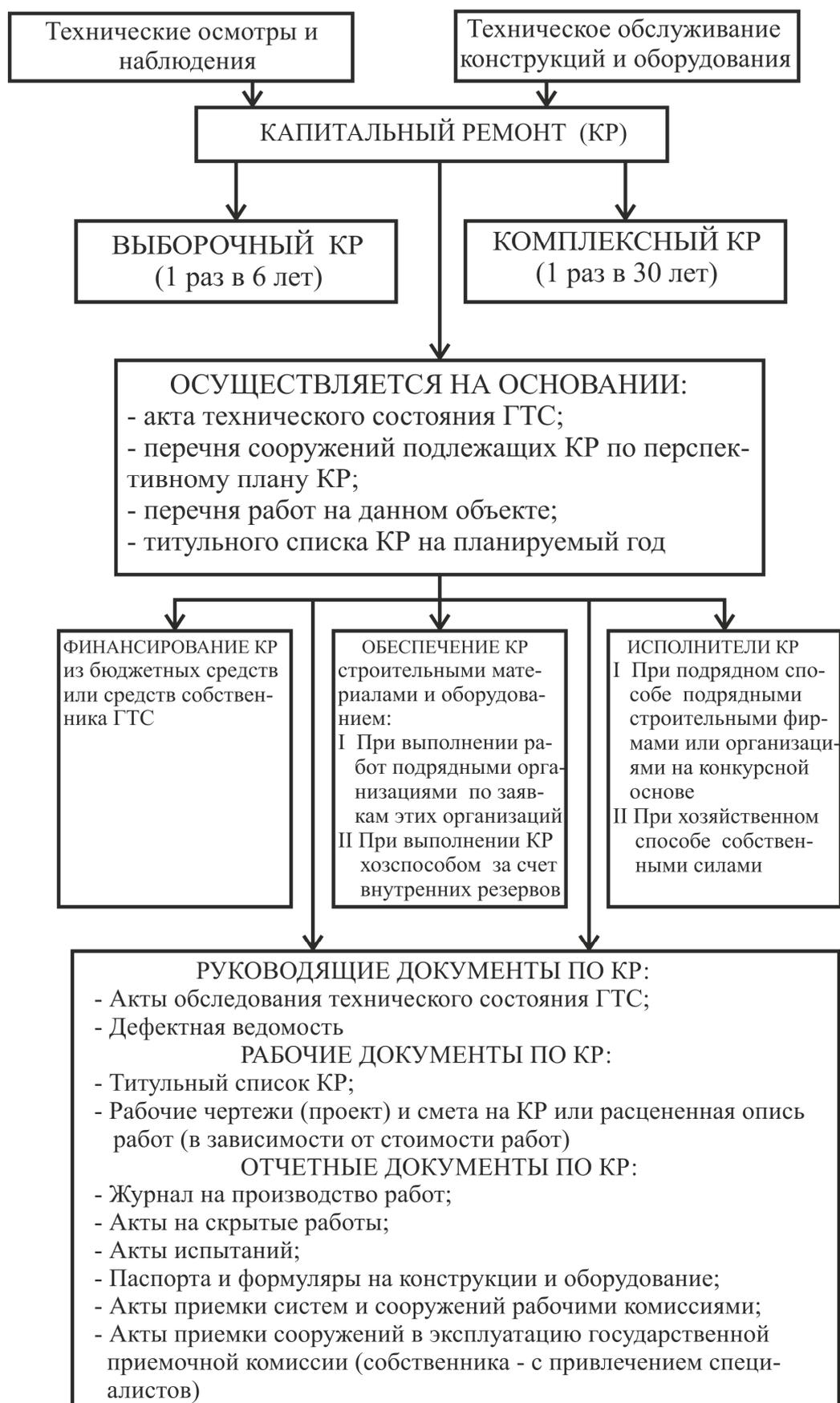


Рисунок 4 – Схема реализации системы ТОиР при капитальном ремонте гидротехнических сооружений

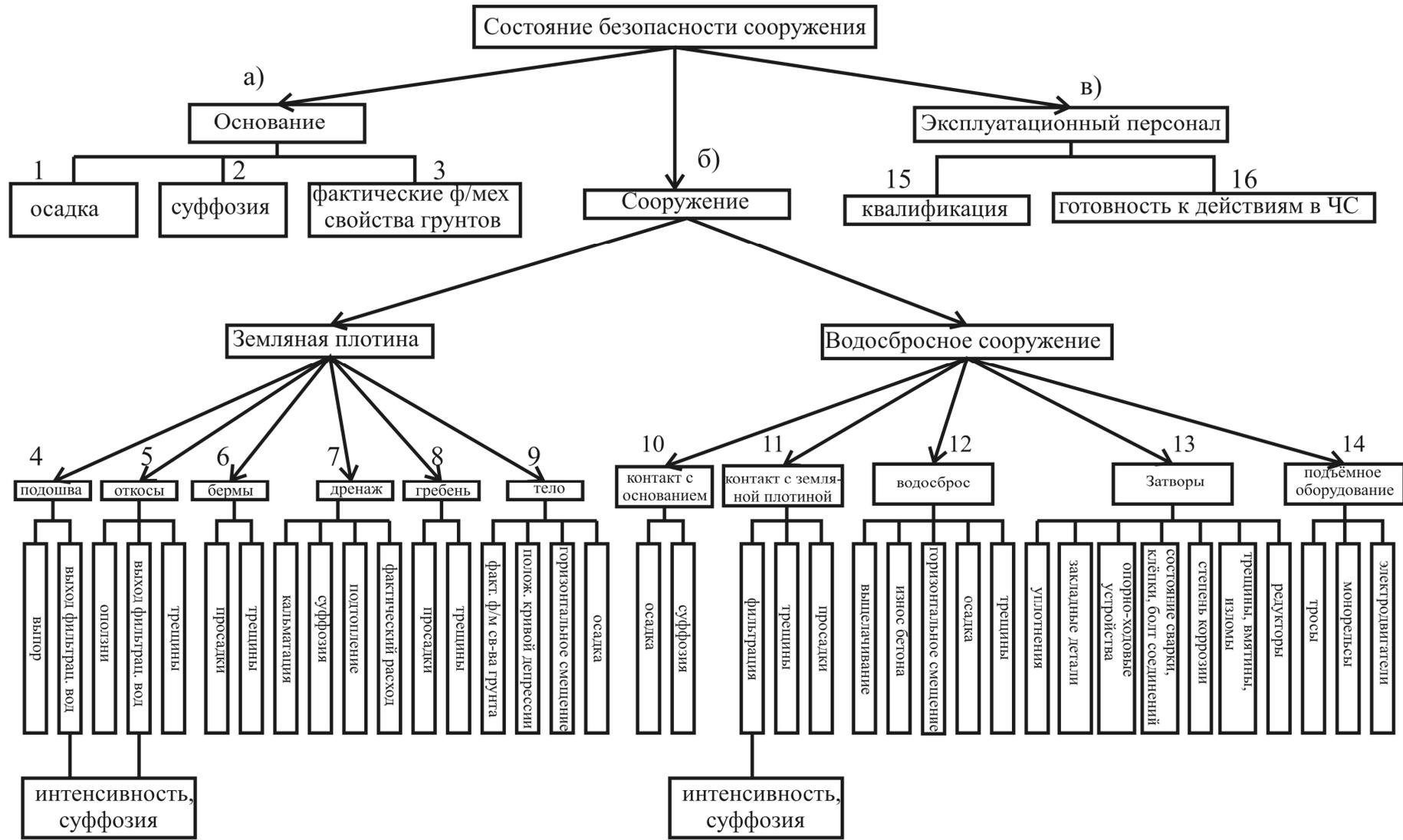


Рисунок 5 – Порядок обследования состояния безопасности ГТС и контролируемые дефекты



Рисунок 6 – Модель системы эксплуатации и их эксплуатационные характеристики

Многолетний опыт эксплуатации ГТС показывает, что эффективность эксплуатации (высокие показатели ремонтпригодности и эргономичности) может быть обеспечена соблюдением планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта.

3 Метод расчета надежности сооружений и оценка риска аварий

Надежность и оценка уровня риска аварий определяют уровень безопасности эксплуатируемого гидротехнического сооружения. Таким обра-

зом, оценка безопасности сооружений включает: оценку технической исправности (надежности работы сооружения) путем сравнения диагностических показателей с их прогнозируемыми критериальными значениями; оценку уровня риска аварии.

Как показывает практика, авария на гидротехническом сооружении не происходит мгновенно, а имеет какой-то временной лаг, что позволяет вовремя при помощи КИА или регулярных наблюдений фиксировать отклонения от нормальной работы и принимать действия по предотвращению неисправностей.

Надежность гидротехнических сооружений – способность сооружениями выполнять требуемые функции в течение расчетного срока эксплуатации. Термин «надежность» определяет успешное функционирование водного объекта в течение расчетного срока эксплуатации.

Основным критерием надежности сооружений является обеспечение ими состояния или невозможности превышения предельных состояний при действии наиболее неблагоприятных сочетаний расчетных нагрузок в течение заданного срока службы.

Предельное состояние сооружений – это количественные характеристики (прочность, в том числе, – фильтрационная; устойчивость, гидравлические параметры и т.д.), превышение которыми допустимых значений указывает на то, что состояние сооружений не отвечает проектным (нормативным) значениям и их эксплуатация недопустима, затруднена или нецелесообразна.

Допустимые значения показателей технического состояния являются количественными параметрами эксплуатационных качеств (ПЭК) сооружений, характеризуют их диагностические критерии безопасности, т.е. надежность.

Надежность сооружений и оснований следует обеспечивать на стадии разработки общей концепции сооружения, при его проектировании,

изготовлении его конструктивных элементов, при его строительстве и эксплуатации.

В современной практике надежность при проектировании, эксплуатации обосновывается результатами расчета по предельным состояниям сооружений, их конструктивных элементов и соединений, а также, при необходимости, данными экспериментальных исследований, в результате которых устанавливаются основные параметры сооружений, их прочностные характеристики и воспринимаемые ими воздействия. Проектная документация при этом должна содержать в необходимых случаях ссылки на соответствующие нормативные документы.

При проектировании и возведении сооружений необходимо учитывать их влияние на возможные изменения условий эксплуатации.

Для каждой учитываемой расчетной ситуации надежность работы конструкций сооружений должна быть обеспечена расчетом, а также путем:

- выбора оптимальных проектных и конструктивных решений, материалов, технологических процессов изготовления и монтажа конструктивных элементов сооружений;

- создания условий, гарантирующих нормальную эксплуатацию сооружений;

- контроля воздействий на сооружения в целом и его отдельных конструктивных элементов;

- проведения организационных мероприятий, направленных на снижение риска реализации аварийных ситуаций и прогрессирующего разрушения сооружений.

Для обеспечения требуемой долговечности, являющейся одной из основных характеристик надежности при проектировании сооружения необходимо учитывать:

- условия эксплуатации по назначению;

- ожидаемое влияние окружающей среды;

- свойства применяемых материалов, возможные средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств.

При проектировании и эксплуатации сооружений, воспринимающих динамические нагрузки или воздействия, следует исключить возможные концентраторы напряжений и, при необходимости, применять специальные меры защиты. Проектирование конструктивных элементов, воспринимающих динамические нагрузки, должно проводиться с учетом результатов их поверочного расчета на выносливость и усталостную прочность.

При действии нагрузок во времени в условиях агрессивной среды (попеременное замораживание и оттаивание, наличие противоледных реагентов, действие солей, находящихся в воде и т.д.) следует учитывать возможный отрицательный эффект их взаимного влияния.

Необходимые меры по обеспечению долговечности конструкций сооружений с учетом конкретных условий эксплуатации проектируемых объектов, а также расчетные сроки их службы.

Предельные состояния сооружений, по которым дается оценка надежности при проектировании и эксплуатации подразделяется на две группы:

- первая группа предельных состояний – состояния строительных объектов, наступление которых ведет к потере несущей способности конструкций сооружений;

- вторая группа предельных состояний – состояния, при наступлении которых нарушается нормальная эксплуатация сооружений или исчерпывается ресурс их долговечности.

Аварийное предельное состояние – состояние, возникающее при аварийных воздействиях и ситуациях, которое приводит к разрушению сооружений с катастрофическими последствиями.

К предельным состояниям первой группы относятся:

- потеря прочности (в том числе – фильтрационной), т.е. разрушение любого характера (например, пластическое, хрупкое, усталостное);

- потеря устойчивости;

- явления, при которых возникает необходимость прекращения эксплуатации (например, чрезмерные деформации в результате деградации свойств материала, пластичности, сдвига в соединениях, а также чрезмерное раскрытие трещин).

К предельным состояниям второй группы относятся:

- образование предельных деформаций конструкций (например, предельных прогибов, углов поворота) или предельных деформаций оснований, устанавливаемых, исходя из технологических, конструктивных или эстетико-психологических требований;

- достижение предельных уровней колебаний конструкций или оснований;

- достижение предельной ширины раскрытия трещин;

- другие явления, при которых возникает необходимость временного ограничения эксплуатации сооружения из-за неприемлемого снижения их эксплуатационных качеств или расчетного срока службы (например, коррозионные повреждения).

Перечень предельных состояний, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации сооружений устанавливаются в нормах на проектирование.

Предельные состояния могут быть отнесены как к сооружению в целом, так и к отдельным его элементам.

Для каждого предельного состояния, которое необходимо учитывать при проектировании, должны быть установлены соответствующие расчетные значения нагрузок и воздействий, характеристик материалов и грунтов, а также геометрические параметры конструкций сооружений (с учетом их возможных наиболее неблагоприятных отклонений), частные ко-

эфициенты надежности, предельно допустимые значения усилий, напряжений, перемещений и осадок.

Для каждого учитываемого предельного состояния должны быть установлены расчетные модели сооружения, его конструктивных элементов и оснований, описывающие их поведение при наиболее неблагоприятных условиях их возведения и эксплуатации.

Расчеты сооружений по предельным состояниям должны проводиться с учетом:

- их расчетного срока службы;
- прочностных и деформационных характеристик материалов, применяемых в конструкциях сооружений, а для грунтов физико-технические характеристики по результатам инженерно-геологических изысканий;
- наиболее неблагоприятных вариантов распределения нагрузок, воздействий и их сочетаний, которые могут возникнуть при возведении, эксплуатации сооружений;
- неблагоприятных последствий в случае достижения сооружениями предельных состояний;
- условий изготовления конструкций, возведения сооружений и особенностей их эксплуатации.

Условия обеспечения надежности конструкций или оснований состоят в том, чтобы расчетные значения усилий, напряжений, деформаций, перемещений, раскрытий трещин не превышали соответствующих им предельных значений, устанавливаемых при проектировании.

Предельно допустимые значения осадок перемещений сооружений следует устанавливать независимо от применяемых материалов.

Расчет конструкций и оснований сооружений 1-го и 2-го уровней ответственности рекомендуется проводить на основе результатов специальных теоретических и экспериментальных исследований, проводимых на физических моделях.

При расчете оснований необходимо использовать устанавливаемые опытным путем значения прочностных и деформационных характеристик грунтов, а также другие параметры, характеризующие взаимодействие сооружений с основанием.

Расчеты сооружений по предельным состояниям проводятся для эксплуатируемых сооружений с целью определения действительных значений ПЭЖ или диагностических критериев безопасности при проведении преддекларационных обследований сооружений I и II группы ответственности (1 раз в 5 лет), для сравнения с допустимыми (проектными), и оценки безопасности сооружения на момент обследования.

При расчете ПЭЖ определяются действующие на сооружения нагрузки: постоянные, длительные, кратковременные, особые. При этом при расчетах необходимо учитывать все возможные неблагоприятные расчетные сочетания (комбинации) нагрузок, которые устанавливаются на основании анализа всех возможных реальных вариантов одновременного их действия и с учетом возможности реализации различных схем приложения временных нагрузок.

Действующие нагрузки сравниваются с нормативными (проектными) и определяется техническое состояние сооружений.

При расчете конструкций гидротехнических сооружений, работающих при повышенной влажности в агрессивных средах, в зонах переменного увлажнения, при высоких и низких температурах, при оценке надежности следует учитывать возможные изменения их свойств во времени, и, в первую очередь, деградацию физических свойств материала (прочности, упругости, жесткости, усадки и т.д.).

В качестве основных параметров механических свойств грунтов следует устанавливать действительные значения прочностных деформационных и других физико-механических характеристик, определяемых на основе данных инженерно-геологических изысканий в месте расположения сооружения.

Превышения показателями состояния заданных допустимых значений означает наступление предельных состояний сооружения, если используемая методика расчета обеспечивает их достоверную оценку.

В качестве показателей состояния гидротехнических сооружений или ПЭК рекомендуется применять следующие величины, характеризующие напряженно-деформированное состояние, фильтрационный и гидравлический режимы сооружения, его основания и береговых примыканий:

- вертикальные и плановые перемещения сооружений, их элементов и оснований, величины деформаций и размеры их зон внутри сооружения;

- напряжения (в том числе – поровое давление) в материалах сооружений, на контактах различных зон внутри сооружения с основанием и бортами каньона, а также температурные градиенты;

- фильтрационные расходы и градиенты, отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока, фильтрационные деформации плотин и их оснований, фильтрационное давление на подошвы бетонных сооружений;

- протяженность и раскрытие трещин;

- линейные размеры и объем размыва в нижнем бьефе и т.д.

Кроме абсолютных значений перечисленных показателей рекомендуется регламентировать интенсивность их изменения во времени в зависимости от периода работы сооружения.

Более подробно, исходя из общих технических требований, к основным параметрам, характеризующим безопасную работу постоянных ГТС мелиоративного назначения, можно отнести:

- параметры статической устойчивости;

- параметры конструктивной устойчивости;

- параметры фильтрационной устойчивости;

- параметры экологической устойчивости;

- параметры борьбы за живучесть.

К параметрам статической устойчивости относятся:

- допустимая ширина раскрытия трещин, межблочных (температурно-осадочных) швов бетонных и железобетонных сооружений;
- наличие полостей и каверн в основании и теле сооружений;
- характерное для оползня направление векторов деформаций (формирование поверхности обрушения);
- поровое давление и интенсивность его рассеивания в водоупорных элементах грунтовых плотин (дамб) и оснований;
- наличие и развитие просадок или пучения грунта на гребне, бермах или откосах;
- параметры сейсмических колебаний оснований и динамической реакции сооружений;
- скорость движения воды в открытых водосбросных сооружениях;
- локальные оползни (обрушения) откосов;
- глубина воды и напор над порогом водослива;
- гидростатическое давление со стороны верхнего и нижнего бьефов (уровни воды, графики наполнения и сработки);
- динамические воздействия на сооружения (от сбрасываемого потока воды, автомобильного транспорта и т.д.);
- напряжения в теле сооружений и их основаниях, контактные напряжения;
- горизонтальные перемещения ГТС и их оснований;
- просадки грунта в непосредственной близости от гидротехнического сооружения, по трассе канала и поблизости от нее;
- наличие неблагоприятных геологических процессов (склоновых, термокарстовых и пр.);
- образование в зимнее время наледей;
- давление наносов и их механические характеристики;
- антропогенные воздействия на гидротехническое сооружение (добыча нефти и газа, строительство подземных сооружений, региональное водопонижение и т.п.).

К параметрам фильтрационной устойчивости относятся:

- наличие сосредоточенных ходов фильтрации в теле, береговых примыканиях и основании плотины;
- фильтрационное давление на подошвы бетонных сооружений;
- отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока;
- пьезометрические напоры и их градиенты в основании сооружений;
- наледи на выходах профильтровавшейся воды;
- температурный режим сооружения;
- температура, мутность и химический состав фильтрующейся воды;
- наличие застойных зон фильтрационного потока;
- наличие и развитие трещин на гранях сооружений, в зонах сопряжения элементов сооружений и оснований с различными механическими и фильтрационными свойствами;
- проявление фильтрации: появление мокрых пятен или высолов, капельной, очаговой или струйной фильтрации;
- фильтрационные расходы в теле сооружений, основании и береговых примыканиях;
- пьезометрические напоры и их градиенты в теле грунтовых сооружений, основании и береговых примыканиях;
- появление воды в обычно сухих смотровых колодцах, кюветах и канавах в непосредственной близости от гидротехнического сооружения или трассы канала;
- засорение, зарастание, промерзание дренажных устройств.

К параметрам конструктивной устойчивости относятся:

- жесткость и устойчивость напряженно-деформированного состояния системы «сооружение-основание»;
- состояние защитных покрытий;
- состояние оболочки (изоляции или антикоррозийной окраски);
- повреждения волнозащитных креплений откосов плотин и дамб;

- геометрический контур дамбы (плотины) и ее конструктивных элементов;

- пропускная способность;

- герметичность стыков, швов, фланцевых соединений;

- следы выщелачивания, коррозии бетона;

- скорость сработки воды;

- уклоны, скорости течения, глубина воды;

- состояние крепления дна и откосов;

- углы поворота характерных сечений бетонных и железобетонных сооружений;

- дефекты и повреждения в виде сколов, раковин, каверн, выбоин, полос или зон истирания, сквозных отверстий; с обнажением или оголением арматуры, с коррозией арматуры и т.п.;

- характер поверхности (плотный или рыхлый; гладкий или шероховатый; с признаками шелушения или без, наличие на поверхности отслаивания, выкрашивания, коррозии арматуры, высолов и т.п.);

- уровень ведения мониторинга безопасности;

- состояние механического оборудования;

- наличие морозобойных трещин, гидролаколлитов.

К параметрам экологической устойчивости относят:

- уровни грунтовых вод в зоне влияния гидротехнических сооружений;

- химический и биологический состав грунтовых вод;

- температура окружающей среду (воздуха, воды) в зоне влияния ГТС;

- физико-химические свойства и химический состав подземных и поверхностных вод.

К параметрам борьбы за живучесть относят:

- наличие на ГТС запаса стройматериалов и спецтехники, предназначенных для предотвращения аварии, ликвидации ее последствий и защиты людей;

- наличие контрольно-измерительной аппаратуры для предупреждения возникновения аварии;

- наличие плана противоаварийных мероприятий;

- наличие плана действий в условиях аварии;

- наличие надежной схемы оповещения об аварийных и чрезвычайных ситуациях и службы медицинского обеспечения в случае аварийной или чрезвычайной ситуации.

При оценке эксплуатационной надежности сооружений принимаются во внимание также показатели их состояния, которые не рассчитываются и не прогнозируются при проектировании и связаны:

- 1) с недостатками, имевшими место во время изысканий, исследований, проектирования, строительства и эксплуатации (ошибки в определении характеристик пород оснований и тела плотин; оценки геологической и гидрогеологической обстановки; неправильный выбор расчетных схем, нагрузок и конструктивных решений; отклонение от технологии строительства и правил эксплуатации);

- 2) с возможными изменениями природной обстановки, расчетных нагрузок и условий эксплуатации.

Предельные значения показателей состояния и их перечень уточняются при сдаче сооружения в эксплуатацию и в процессе эксплуатации на основе данных по технологии возведения сооружения, конструктивных изменений, внесенных в процессе строительства, результатов натурных наблюдений, а также на основе контрольных расчетов, выполненных с использованием уточненных характеристик свойств материалов сооружения и его основания.

Предельные значения показателей состояния рекомендуется уточнять на основе модельных исследований, натурных данных и на основе

анализа состояния сооружений аналогичной конструкции, достигавших предельных состояний первой группы (по непригодности и эксплуатации) или второй группы (по непригодности к нормальной эксплуатации).

Параметры эксплуатационных качеств характеризуют безопасность сооружения. Диагностические критерии безопасности определяют их нормативные значения. Критерии безопасности должны быть установлены для каждого гидротехнического сооружения мелиоративного назначения.

За критерии безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения следует принимать предельные значения количественных и качественных показателей их состояния и условий эксплуатации, которые, с одной стороны, соответствуют допустимому уровню риска аварии сооружения, а с другой – однозначно характеризуют одно из его состояний: исправное (работоспособное), неисправное (частично работоспособное) или предаварийное (неработоспособное).

Для гидротехнических сооружений критерии безопасности должны быть разработаны для двух уровней значений их диагностических показателей:

К1 – первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, характеризующих переход сооружения от работоспособного состояния к частично работоспособному состоянию, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность водоподпорных и водосбросных сооружений еще соответствуют условиям нормальной эксплуатации;

К2 – второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, характеризующий переход сооружения от частично работоспособного в неработоспособное (предаварийное) состояние, при превышении которых эксплуатация гидротехнического сооружения в проектных режимах недопустима.

Критерии безопасности гидротехнических сооружений должны быть установлены на стадии проектирования. На стадиях строительства, экс-

плуатации, и (или) реконструкции гидротехнического сооружения, а также изменений условий его эксплуатации, изменения требований норм и правил безопасности ГТС критерии подлежат уточнению.

Для эксплуатируемых гидротехнических сооружений мелиоративного назначения численные критериальные значения K_1 и K_2 диагностических показателей назначаются поверочными расчетами по предельным состояниям первой и второй групп, на основное и особое сочетание нагрузок и воздействий. При этом в расчетных моделях и схемах должны быть учтены конструктивные изменения сооружения, внесенные в ходе строительства и эксплуатации, уточненные расчетные нагрузки, характеристики грунтов и материалов, а также выявленные натурными наблюдениями особенности работы, процессы и дефекты, влияющие на прочность и устойчивость сооружения и основания. Оперативную оценку эксплуатационного состояния сооружения и его безопасности должны осуществлять путем сравнения измеренных (или вычисленных на основе измерений) количественных и качественных диагностических показателей с их критериальными значениями K_1 и K_2 , а также с прогнозируемым интервалом изменения диагностических показателей.

Для диагностических показателей, для которых достоверные расчетные значения получить сложно (из-за отсутствия исходных данных, сложности учета многочисленных факторов и т.п.), критериальные значения могут быть установлены статистическим методом по результатам анализа данных многолетних натуральных наблюдений за работой и состоянием сооружения.

Статистические методы для назначения критериев безопасности могут быть применены для всего комплекса измеряемых диагностических показателей при наличии представительного временного ряда натуральных измерений в диапазоне нагрузок и воздействий, не превышающих проектные [23].

Сооружение считается безопасным в случае, когда показатели состояния сооружения и основания, непосредственно определяющие его прочность, устойчивость, водопропускную способность, превышение гребня над уровнем воды в водохранилище, соответствуют показателям, установленным действующими нормами проектирования гидротехнических сооружений.

Рекомендуемые методы расчетов и исследований для определения критериальных значений К1 и К2 приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Рекомендуемые методы расчетов и исследований для определения критериальных значений К1 и К2

№ п/п	Наименование показателя	Рекомендуемые методы расчетов и исследований для определения критериальных значений К1 и К2
1	2	3
1	Отметки депрессионной поверхности фильтрационного потока в теле грунтовых сооружений и береговых примыканиях	Аналитические методы (метод исследования напорной и безнапорной фильтрации, метод фрагментов) и графический – для определения критериальных значений пьезометрических напоров, фильтрационных расходов. На стадии эксплуатации критериальные значения К1 и К2 уточняются поверочными расчетами, в том числе на основе использования прогнозных статистических моделей
2	Пьезометрические напоры в теле сооружений, оснований береговых примыканиях	
3	Градиенты напора в теле сооружений, основании и береговых примыканиях	
4	Фильтрационные расходы в теле сооружений, основании и береговых примыканиях	
5	Вертикальные перемещения (осадки) гидросооружений и их оснований	Детерминистические расчеты прочности и устойчивости бетонных гидросооружений и сооружений из грунтовых материалов (методы механики сплошной среды, теории упругости, пластичности, ползучести). На стадии эксплуатации критериальные значения показателей состояния ГТС уточняются поверочными расчетами на основе данных натуральных наблюдений
6	Горизонтальные перемещения гидросооружений и их оснований	
7	Напряжения в теле сооружений и их основаниях	
8	Углы поворота характерных сечений бетонных и ж/бетонных сооружений	
9	Раскрытие трещин и межблочных швов	Инженерные методы, регламентированные СНиП (вторая группа предельных состояний). Критериальные значения показателей

Продолжение таблицы 3

1	2	3
10	Глубина распространения трещины по контакту бетонной плотины со скальным основанием	Определение предельной глубины распространения трещины по контакту бетонной плотины со скальным основанием из условия обеспечения прочности сооружения и основания. На стадии эксплуатации – использование прогнозных математических моделей (аппроксимация, регрессионная модель)
11	Взаимное смещение секций по швам бетонных и ж/бетонных сооружений	Определение допустимого взаимного смещения секций по швам относительно друг друга из условия сохранения герметичности. На стадии эксплуатации – использование статистических моделей
12	Температура и температурный градиент в теле сооружения и в приконтактной зоне основания (для сооружений, возводимых в северной климатической зоне)	Расчеты напряженного состояния плотин и их оснований. На стадии эксплуатации критериальные значения показателя уточняются расчетом с учетом реального температурного режима окружающей среды
13	Температура фильтрующей воды в теле грунтовых сооружений	Использование статистических моделей на основании данных натуральных наблюдений
14	Глубина размыва дна отводящего канала ниже рисбермы	Определение глубины размыва – расчетом по эмпирическим зависимостям (из условия допустимой неразмывающей скорости потока) и удельного расхода. Критериальные значения глубины размыва дна отводящего канала ниже рисбермы на стадии эксплуатации принимаются равными значениям, определенным на стадии проекта
15	Линейный размер и площадь зоны нарушения контакта плит крепления откосов плотин из грунтовых материалов	Расчет прочности плит крепления откосов плотин из грунтовых материалов для различных условий их опирания

Расчеты по проверке соответствия сооружения требованиям нормативных документов выполняются заблаговременно его собственником или по его заданию проектной или научно-исследовательской организациями. Комиссия, проводящая обследование сооружения, проверяет правильность выбора исходных данных, методики расчетов и принятых нормативных критериев.

ФГНУ «РосНИИПМ» в качестве показателей состояния, характеризующие надежность с безопасностью мелиоративных сооружений рекомендует следующие параметры (таблица 4).

Таблица 4 – Критерии безопасности и надежности ГТС мелиоративного назначения

Показатели	Значения	Примечания
1	2	3
Превышение отметки гребня сооружений, создающих напорный фронт, над уровнем воды в водотоке, водоеме (пруд или водохранилище) расчетной обеспеченности	$H_{cp} - (H_{p\%} + \Delta h_{set} + h_{run1\%}) > 0,5 \text{ м}$	H_{cp} – отметки гребня; $H_{p\%}$ – отметка уровня воды расчетной обеспеченности; Δh_{set} – ветровой нагон воды в верхнем бьефе; $h_{run1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1 %
Фильтрационная устойчивость грунта тела сооружения	$\frac{J_{дк}}{J} \geq 1,0$	$J_{дк}$ – допустимый контролирующий градиент; J – действительный градиент
Пропускная способность водосбросных сооружений	$\frac{Q_{вод.соор}^{max}}{Q_{p\%}} \geq 1$	$Q_{вод.соор}^{max}$ – максимальная пропускная способность сооружения; $Q_{p\%}$ – расчетная пропускная способность сооружения заданной обеспеченности
Пропускная способность водозабора (водоспуска)	$\frac{Q_{тр.вод}}{Q_{соор}} \leq 1$	$Q_{тр.вод}$ – требуемый расход по графику водоподачи; $Q_{соор}$ – пропускная способность сооружения
Устойчивость грунта основания сооружения на механическую суффозию	$\frac{V_{суф}}{V_{вых}} > 1$	$V_{суф}$ – допустимая выходная скорость механической суффозии грунта сооружения основания; $V_{вых}$ – действительная выходная скорость фильтрационного потока
Статическая устойчивость откосов	$\frac{K_з}{K_о} \geq 1,0$	$K_з$ – коэффициент запаса устойчивости откосов; $K_о$ – допустимый коэффициент устойчивости
Прочность грунта основания	$\frac{R_H}{R} > 1$	R_H – нормативное допустимое напряжение; R – действительное напряжение на грунт основания

Продолжение таблицы 4

1	2	3
Обеспечение надежности системы «сооружение-основание»	$\frac{R_{н.с.}}{\gamma_n \gamma_{lc} F} \geq 1$	$R_{н.с.}$ – допустимое нормативное значение обобщенной несущей способности; F – значение обобщенного силового воздействия; γ_n – коэффициент надежности по ответственности сооружения; γ_{lc} – коэффициент сочетания нагрузок
Условие неразмываемости	$\frac{V_{\Deltaн.доп}}{V_{\Deltaн.дон}} \geq 1$ $\frac{V_{н.доп}}{V_{н.ср}} \geq 1$	$V_{\Deltaн.доп}$ – допускаемая (неразмывающая) донная скорость потока в точке; $V_{\Deltaн.дон}$ – действительная донная скорость потока в точке; $V_{н.доп}$ – допускаемая (неразмывающая) средняя скорость потока; $V_{н.ср}$ – средняя скорость потока
Условие незаиляемости	$\frac{V_{нез}}{V_{н.ср}} \geq 1$	$V_{нез}$ – допускаемая (незаиляющая) средняя скорость потока; $V_{н.ср}$ – средняя скорость потока (должна быть > 0,3 м/с)
Условие незарастаемости	$V_{н.ср} > 0,5-0,6$	$V_{н.ср}$ – средняя скорость потока, м/с
<p>В числителе – нормативные значения диагностических критериев безопасности К1. В знаменателе – значения измеренных диагностических показателей состояния сооружений.</p>		

В связи с тем, что аварии гидротехнических сооружений могут иметь катастрофические последствия, существует стремление обеспечить «абсолютную надежность ответственных сооружений», т.е. свести вероятность аварии к нулю. Накопленный к настоящему времени опыт эксплуатации свидетельствует, что аварии гидросооружений, тем не менее, происходят.

Рассчитанная по этим данным, осредненная по всем видам гидросооружений годовая вероятность аварии составляет 10^{-4} - 10^{-5} [24, 25].

Существенная изменчивость как характеристик воздействия, так и параметров исходного состояния определяет выбор числового значения вероятности наступления предельного состояния (отказа, повреждения) сооружения в качестве меры риска аварии. Вероятностная оценка риска аварии гидросооружений позволяет получить наиболее экономичное инженерное решение, обеспечивающее минимизацию суммарных затрат на возведение сооружения и на ликвидацию возможного вследствие аварии ущерба народному хозяйству. Таким образом, устраняется опасность как чрезмерного риска аварии, так и необоснованных запасов в конструкции сооружения.

Вероятность поступления предельного состояния (отказа, повреждения) в течение заданного срока или в единицу времени принята в качестве показателя риска аварии.

Расчетные оценки риска аварии следует использовать для оптимизации конструкции гидротехнических сооружений. Рекомендуется применять экономический критерий оптимизации в соответствии с известным в теории надежности соотношением:

$$П = R + \sum_{i=1} R_i Y_i = \min ,$$

где $П$ – приведенные затраты на возведение гидротехнического сооружения;

R – амортизационные отчисления и эксплуатационные расходы;

R_i – годовая вероятность наступления предельного состояния (риска аварии), повреждения или отказа в течение заданного срока;

Y_i – стоимость народнохозяйственного ущерба, вызванного наступлением предельного состояния (риска аварии), повреждением или отказом.

Оценки ущерба рекомендуется выполнять по методике, разработанной МЧС [26].

В отечественной практике существуют два основных метода количественной оценки уровня риска аварий ГТС:

1 Метод экспертных оценок (детерминированная оценка возможного риска аварий).

2 Метод расчета надежности сооружений с оценкой риска аварий (вероятностный метод).

Наиболее широкое распространение получили методики оценок уровня безопасности гидротехнических сооружений, разработанные научно-исследовательским институтом ОАО «НИИЭС» (Энергетических сооружений) [27] и ФГУП ВНИИ «ВОДГЕО» [28].

В практике эксплуатации мелиоративных сооружений для определения уровня безопасности, как правило, используется метод экспертных оценок ФГУП «ВОДГЕО» в виде рекомендаций [28].

Второй метод приближен к международным стандартам, но не нашел широкого применения в России.

В рекомендациях на основе экспертного анализа и сопоставления всей совокупности факторов, влияющих на надежность и безопасность ГТС, дана количественная оценка опасности аварий, уязвимости, риска, включая возможный ущерб при аварии. Следует отметить, что каждое из этих понятий является достаточно сложной функцией многих переменных – факторов. Объединения факторов по совокупности, определяются показателем уязвимости, опасности аварий, риска. Такой подход позволяет выполнить интегральную количественную оценку этих показателей.

В зависимости от величины показателей строится градация по степени опасности аварий, уязвимости, риска.

За основу количественной оценки опасности, уязвимости, риска аварий ГТС приняты нормирующие коэффициенты, характеризующие долю (вероятность) от наиболее неблагоприятных ситуаций.

Оценка риска аварий производится на основании экспертного анализа степени опасности аварии и степени уязвимости ГТС. Степень риска аварии оценивается по принципу пересечения этих событий и количественно выражается коэффициентом риска аварии:

$$R_a = \chi V_y,$$

где χ – коэффициент опасности аварии;

V_y – коэффициент уязвимости аварии сооружения.

Коэффициенты опасности и уязвимости определяются для каждого события по таблицам, представленным в рекомендациях [28]. Физический смысл коэффициента R_a состоит в том, что он представляет собой долю от риска, который имеет место на ГТС при наиболее неблагоприятных сочетаниях показателей опасности ($\chi = 1$) и уязвимости ($V_y = 1$). Степень риска аварии оценивается по величине коэффициента аварии R_a в соответствии с данными таблицы 5.

Таблица 5 – Значение коэффициента риска аварий R_a в зависимости от степени риска (по методике ФГУП ВНИИ ВОДГЕО)

Степень риска аварии	R_a
Малая (нормальный уровень безопасности)	Не более 0,15
Умеренная (пониженный уровень безопасности)	Свыше 0,15, но не более 0,3
Большая (неудовлетворительный уровень безопасности)	Свыше 0,3, но не более 0,5
Аварийная ситуация (опасный уровень)	Свыше 0,5

В ФГНУ «РосНИИПМ» разработаны для III-го и IV-го классов сооружений допустимые коэффициенты риска аварий. Предлагается качественная и количественная оценки риска аварий в зависимости от уровня безопасности. При эксплуатации ГТС в процессе проведения мониторинга

будут определяться параметры риска, техническое состояние ГТС и их уровень безопасности. Качественные и нормативные количественные показатели риска и техническое состояние ГТС представлены в таблицах 6, 7.

Таблица 6 – Расчетные коэффициенты рисков аварий для различных уровней безопасности ГТС (по методике «РосНИИПМ»)

Уровень безопасности (по МПР)	Риск аварии			
	I класс	II класс	III класс	IV класс
Нормальный	5×10^{-5}	5×10^{-4}	4×10^{-3}	$5 \div 6 \times 10^{-3}$
Пониженный	$6,4 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-3}$	$4,87 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$
Неудовлетворительный	$1,18 \times 10^{-3}$	$3,16 \times 10^{-3}$	$7,09 \times 10^{-3}$	$2,75 \times 10^{-2}$
Опасный	$3,4 \times 10^{-3}$	$9,2 \times 10^{-3}$	$2,06 \times 10^{-2}$	8×10^{-2}

Таблица 7 – Характеристики технического состояния и уровня безопасности ГТС (качественные и количественные)

Техническое состояние	Нормальное	Удовлетворительное	Не вполне удовлетворительное	Неудовлетворительное
Процент физического износа	до 10 %	11-15 %	16-20 %	Более 20 %
Уровень безопасности	Нормальный	Пониженный	Неудовлетворительный	Опасный (критический)
Коэффициент риска для ГТС IV класса	$5 \div 6 \times 10^{-3}$	$1,5 \times 10^{-2}$	$2,75 \times 10^{-2}$	8×10^{-2}
Степень риска аварии R_a	Не более 0,15	Свыше 0,15, но не более 0,3	Свыше 0,3, но не более 0,5	Свыше 0,5

Особо следует подчеркнуть, что для объектов, которые являются потенциальным источником опасности, а к таким объектам относится большинство мелиоративных сооружений, важными показателями является безопасность и живучесть.

Безопасность можно трактовать, как свойство объекта в случае нарушения работоспособного состояния при эксплуатации не создавать угрозу для жизни и здоровья людей, а также окружающей среды.

Хотя безопасность не входит в общее понятие надежности, однако при определенных условиях тесно связана с этим понятием, например, если отказы могут привести к условиям, вредным для людей и окружающей

среды сверх предельно допустимых норм, например: подтопление, затопление и т.п.

Живучесть сооружения занимает промежуточное место между понятиями «надежность» и «безопасность». Живучесть трактуется как свойство сооружения противостоять развитию критических отказов из-за возникших дефектов или повреждений при установленной системе технического обслуживания и ремонта, или свойство сооружений сохранять ограниченную работоспособность при наличии дефектов или повреждений определенного вида. Примером может служить сохранение каналом пропускной способности при его зарастании, или сохранении несущей способности трубчатых сооружениями (трубами) при возникновении усталостных трещин, размеры которых не превышают допустимых значений.

Исходя из вышеизложенного, для общей расчетной надежности и безопасности ГТС мелиоративного назначения необходимы следующие исходные данные:

- конструктивная схема сооружения и его стоимость;
- стоимость ущерба народному хозяйству в случае наступления предельного состояния, отказа или повреждения;
- функции распределения вероятностей характеристик сооружения и его материалов;
- функции распределения вероятностей характеристик воздействий.

Определение вероятности выхода количественных показателей состояния сооружения за пределы допустимых значений в течение срока эксплуатации, включает следующие этапы:

а) на основании опыта проектирования, строительства и эксплуатации анализируемого ГТС составляется перечень факторов, которые будут использоваться в математической модели сооружения;

б) задаются средние значения действующих факторов и путем изменения одного из них в расчете достигается значение показателя состояния сооружения, как можно более близкое к предельному и по функции рас-

предела вероятностей фиксируется соответствующее приращение вероятности;

в) последовательно изменяются в соответствии с полученным приращением вероятности каждый из факторов (значения остальных факторов остаются средними) и фиксируются соответствующие изменения показателя состояния сооружения;

г) отбираются факторы, вызвавшие (при равных приращениях вероятности по функции распределения) наибольшие изменения показателя состояния сооружения (в расчетах надежности не более трех факторов);

д) расчетная модель будет иметь следующий вид:

$$(V_1 - V_m) = B(q_1 \dots q_\alpha, q_{\alpha+1} \dots q_n),$$

где V_1, V_m – показатели состояния сооружения;

$q_1 \dots q_\alpha$ – параметры воздействий;

$q_{\alpha+1} \dots q_n$ – характеристики свойств материалов (или показатели, характеризующие работу отдельных элементов сооружения);

B – оператор, определяющий математическую модель (методику расчета).

е) назначение предельных значений показателей состояния сооружения;

ж) построение совместной функции распределения вероятностей характеристик воздействий и свойств материала;

з) проведение с использованием математической модели серии расчетов при различных сочетаниях параметров воздействий;

к) вычисление надежности ГТС путем интегрирования совместной плотности вероятностей параметров воздействий и свойств.

Эта математическая модель и порядок расчета может использоваться как при преддекларационном обследовании, так и при составлении деклараций безопасности ГТС мелиоративного назначения.

4 Проблемы надежности эксплуатации ГТС

В наступившем столетии около миллиарда человек будут жить в нижних бьефах гидротехнических сооружений, что вызывает повышенный интерес к проблемам их безопасности. Немалые опасения связываются также с ростом численности старых плотин, характеризующихся низким уровнем надежности.

В настоящее время многочисленные гидротехнические сооружения мелиоративного назначения на оросительных и осушительных системах России эксплуатируются уже более 30-50 лет. В связи с длительным сроком их работы происходит естественный процесс старения материалов и конструкций ГТС. Кроме того после 1991 г. из-за резкого уменьшения финансирования ремонтно-восстановительных работ на мелиоративных системах значительно ухудшилось техническое состояние большинства ГТС [11, 29-33].

Отмеченные обстоятельства привели к снижению эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения (регулирующих, водопроводящих, сопрягающих, водоподпорных, водосбросных, берегозащитных и др.), невыполнению их основных функций по подаче заданных расходов, поддержанию требуемых уровней воды, а в ряде случаев – к отказам в работе и авариям с выходом их из строя.

Основные показатели эксплуатационной надежности (функции гидротехнических сооружений) подразделяются на показатели конструктивной надежности – прочность, устойчивость, водонепроницаемость, морозостойкость и др.; показатели технологической надежности – напор, расход, объем воды в водохранилище, выработка электроэнергии, обеспечение водозабора и водоподачи, пропуск рыбы, и т.д.; показатели архитектурного соответствия – соблюдение архитектурных форм с учетом ландшафта, фактура поверхности, цвет, внешний вид и др.

Надежность гидротехнических сооружений определяется вышеперечисленными показателями, заложенными в проекте, и качеством выполне-

ния работ при возведении сооружений. В процессе эксплуатации надежность гидротехнических сооружений может практически оставаться на том же уровне, повышаться или понижаться. В первые годы эксплуатации, когда происходит период приработки отдельных сооружений или их элементов (5-7 лет), наблюдается большее число отказов, то есть надежность имеет пониженные значения. В последующие годы наступает период нормальной работы сооружения, когда число отказов уменьшается. Для крупных и средних сооружений такой период может составлять 30-70 лет в зависимости от уровня ответственности сооружений. В дальнейшем надежность сооружений снижается, и число отказов возрастает.

Следует отметить, что отдельные элементы гидротехнических сооружений могут иметь различные закономерности распределения надежности во времени. Например, дренажные системы могут иметь самую высокую надежность в начальный период, а затем она снижается; противофильтрационные конструкции могут в начальный период работать менее надежно, а после кальмотации отдельных элементов их надежность возрастает, или, наоборот, уменьшается, если в процессе эксплуатации возникнут фильтрационные деформации, разуплотняющие грунт противофильтрационного элемента.

Надежность гидротехнических сооружений определяется комплексными свойствами: безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью. Все эти понятия носят вероятностный характер. Безотказность характеризуется вероятностью сооружения сохранять свою работоспособность в течение заданного времени при некоторых условиях эксплуатации. Под долговечностью понимается свойство сооружения сохранять свои эксплуатационные показатели (работоспособность) в заданных пределах до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта (момента выхода его из строя). Ремонтпригодность сочетает в себе совокупность времени и стоимости, необходимых для устранения повреждений или отказов.

Она устанавливается технико-экономическими обоснованиями. *Сохраняемость* – свойство объекта непрерывно находиться в исправном и работоспособном состоянии в течение эксплуатации, а также после хранения и транспортировки.

Потеря сооружениями или их элементами требуемых эксплуатационных качеств называется старением, или износом. Это понятие является обратным долговечности. Различают физическое старение, когда сооружение теряет свои первоначальные физико-технические свойства (прочность, устойчивость, обеспечение гашения избыточной энергии потока, водонепроницаемость, морозостойкость и т.д.) и моральное старение, когда наблюдается технологическое несоответствие современным требованиям и современному уровню научно-технического прогресса. В гидротехническом строительстве чаще срабатывает фактор физического старения и возникает необходимость проведения ремонтно-восстановительных работ или реконструкции сооружений.

Основными факторами, влияющими на долговечность и продолжительность межремонтного периода, являются: уровень надежности технических решений, заложенный при составлении проекта; качество выполнения строительных работ; качество конструкций и материалов; уровень эксплуатации гидротехнических сооружений. Поэтому в целях повышения надежности сооружений и увеличения продолжительности межремонтного периода при составлении проектов и строительстве не следует:

- отступать от конструктивных схем, обоснованных расчетом;
- не в полной мере учитывать геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические, климатические и технические или технологические характеристики;
- ослаблять авторский контроль со стороны проектировщиков и др.

При строительстве нельзя необоснованно отступать от проекта, допускать низкое качество строительно-монтажных работ, нарушать технологии, применять без должного обоснования строительные материалы,

не предусмотренные в проекте. Эксплуатационный персонал должен принимать в эксплуатации сооружения без недоделок, дефектов, отклонений от проекта, иметь достаточный технический уровень подготовки, обеспечивать уход за сооружениями, систематически анализировать результаты наблюдений, своевременно проводить ремонтно-восстановительные работы.

До недавнего времени проблема надежности сводилась в основном к вопросам безаварийности ГТС в процессе эксплуатации. Это приводило к повышению массивности конструкций отдельных ГТС. Вместе с тем надежность – категория не только техническая, но и экономическая, так как увеличение сроков эксплуатации сооружения, снижение частоты ремонтов в процессе эксплуатации эквивалентны экономическому эффекту [9].

Используемый в настоящее время при расчетах гидротехнических сооружений метод предельных состояний ориентируется на учет изменчивости исходных данных, однако оперирует системой детерминированных коэффициентов. Обобщенный риск реализации предельного состояния по полной группе событий вычислялся по формуле:

$$Q_k = \sum_i P(C_i)P(\beta_k / C_i),$$

где $P(C_i)$ – риск превышения нормативного значения обобщенного силового воздействия для i -го сочетания;

$P(\beta_k / C_i)$ – условная вероятность реализации k -го предельного состояния при i -м сочетании, определяемая по формуле А. Р. Ржаницына [12], при соответствующем значении характеристике $\beta = \gamma_n \gamma_{ic}$ – при оценке верхней границы риска Q^{sup} ; $\beta = \beta(\gamma_n, \gamma_{ic}, \gamma_f, \gamma_m, \gamma_g, \gamma_c)$ – нижней границы риска Q^{inf} ; коэффициенты в скобках, соответственно: ответственности, сочетания нагрузок, надежности по нагрузкам, материалам, грунтам, условиям работы. Зачастую при применении этого подхода имеет место недостаточная объективность при их назначении, особенно при обосновании сочетания нагрузок и воздействий, а также условий работы – весьма ответственных моментов оценки и обеспечения надежности и безопасности ГТС

мелиоративного назначения. Поскольку в методе предельных состояний специалисты при обработке исходной информации, так или иначе, используют подходы теории вероятностей и математической статистики, то закономерно возникает вопрос о связи между изменчивостью «входных» расчетных параметров и изменчивостью «выходных» величин, по которым определяется работоспособность сооружения.

Таким образом, основная цель изучения надежности – обеспечение безотказной работы, а также минимальных затрат времени и средств на техническую эксплуатацию и ремонты сооружений, обеспечение безопасности, т.е. безаварийной их работы в установленный срок службы.

Это предусматривает целенаправленное исследование эксплуатационной надежности конструктивных элементов сооружений путем решения следующих задач:

- первая – определение конструктивных элементов, надежность которых не удовлетворяет требованиям эксплуатации, и уровень надежности сооружения в целом. Эта задача решается путем сбора информации об отказах с последующим установлением причин отказов и замене малонадежных элементов, их усиление и т.д. Для решения первой задачи большое значение имеет совершенствование сбора информации (проведение мониторинга) о недостатках работы и дефектов конструктивных элементов в процессе их эксплуатации;

- вторая – связана с разработкой нормативов периодичности и объема ремонтов, а также норм продолжительности проведения работ. Для решения этой задачи требуются достоверные данные о надежности элементов, о закономерности увеличения темпа износа конструктивных элементов в зависимости от времени эксплуатации. Для обоснования нормативов необходимо совершенствовать методы инженерного анализа долговечности конструктивных элементов;

- третья – заключается в определении показателей безотказности и ремонтпригодности ГТС.

Факторы, определяющие надежность ГТС, многочисленны. Условно их можно разделить на три основные группы: конструктивные, технологические, эксплуатационные.

Основными причинами ненадежной работы трубчатых ГТС, которые являются наиболее массовыми сооружениями (трубчатые регуляторы, регуляторы-быстротоки, шахтные регуляторы-перепады), выполненными по типовым проектам, по результатам проведенных обследований являются следующие:

- превышение гидравлического перепада расчетных значений, рекомендуемых типовыми проектами;
- размывы нижнего бьефа за рисбермой;
- сбойность течения в нижнем бьефе;
- несоблюдение расчетного режима движения в трубчатых сооружениях (вместо напорного – полунапорный режим);
- расстройство стыков отдельных звеньев труб;
- всплески и волнообразование в нижнем бьефе, приводящие к повышенным пульсациям потока и волнобою;
- незатопление выходного оголовка трубчатых сооружений с отогнанным режимом сопряжения с нижним бьефом.

Причинами ненадежной работы открытых шлюзов-регуляторов и подпорно-регулирующих сооружений на каналах являются:

- снижение пропускной способности сооружения при эксплуатации;
- частичное заиливание верхнего бьефа перед сооружением, особенно при наличии порога перед затвором;
- часто наблюдаемая сбойность течения и размывы нижнего бьефа при отогнанном режиме сопряжения гидравлическим прыжком с отводящим руслом;
- наличие фильтрационных деформаций грунта основания в пределах рисбермы;

- появление трещин на плитах водобоя и в местах примыкания устоев с монолитным днищем водозабойной части.

Причинами ненадежной работы водоподпорных ГТС (грунтовых плотин) на прудах и водохранилищах являются:

- местные деформации откосов, гребня и берм плотины, а также береговых склонов в примыканиях;

- выявленные места открытых выходов фильтрационных вод на низовом откосе и в береговых примыканиях выше дренажной призмы, проявляющихся в виде появления свищей, грифонов, ключей и т.п.;

- суффозионные выносы грунта из плотины, основания и береговых примыканий под воздействием фильтрационного потока;

- заиление и забивка грунтом дренажей плотины, водоотводящих выпусков, каналов и кюветов;

- наличие трещин и дождевых промоин на гребне, откосах и бермах плотины;

- разрушение креплений верхового и низового откосов плотины;

- ощутимые просадки тела и основания плотины, образуемые в зонах усиленной суффозии;

- образований сквозных вертикальных трещин в противofильтрационных устройствах тела плотины (экранах и ядрах);

- перелив воды через просадочные понижения гребня плотины;

- химическая и механическая суффозия заполнителя скального трещиноватого основания;

- карстово-суффозионные деформации грунта основания с образованием пустот и провалов.

Причинами ненадежной работы быстротоков на водосбросных трактах грунтовых плотин и в качестве сопрягающих сооружений на каналах являются:

- высокие скорости движения воды на лотке быстротока, приводящие к истиранию и разрушению бетона;

- образование катящихся волн на лотке быстротока, вызывающие значительные динамические нагрузки и разрушение гасителей энергии и размывы нижнего бьефа за рисбермой;

- выход из строя дренажной системы вдоль стенок лотка быстротока, что приводит к избыточному давлению фильтрационного потока на днище и стенки лотка быстротока;

- фильтрационные деформации грунта основания под днищем лотка быстротока и в пределах рисбермы;

- отгон гидравлического прыжка из водобойного колодца, что приводит к размыву рисбермы и постепенному разрушению колодца;

- сбойность потока в области прыжкового сопряжения с трапециевидальным поперечным сечением выходной части, что вызывает увеличение боковых водоворотных течений и резко неравномерное распределение скоростей за сооружением, в результате чего наблюдаются размывы и разрушения в пределах рисбермы.

Учитывая множество факторов, влияющих на надежность работы сооружений, поток отказов в общем виде можно определить многопараметрической функцией (1), которая имеет следующий вид [12]:

$$\omega(\tau) = f[\omega_z(\tau), \omega_{pz}(\tau), \omega_{kn}(\tau), \omega_{zz}(\tau), \omega_{kl}(\tau), \omega_9(\tau), \omega_n(\tau)], \quad (1)$$

где $\omega_z(\tau)$ – обобщенный параметр гидравлических условий сооружения;

$\omega_{pz}(\tau)$ – обобщенный параметр условий размыва и заиления;

$\omega_{kn}(\tau)$ – обобщенный параметр конструктивной надежности условий;

$\omega_{zz}(\tau)$ – обобщенный параметр геологических и геотехнических условий;

$\omega_{kl}(\tau)$ – обобщенный параметр климатических условий;

$\omega_9(\tau)$ – обобщенный параметр условий эксплуатации сооружения;

$\omega_n(\tau)$ – обобщенный параметр неучтенных факторов.

Каждый обобщенный параметр, в формуле 1, может быть расчленен на отдельные параметры. Так обобщенный параметр конструктивной надежности может быть представлен как функция отдельных параметров:

$$\omega_{кн}(\tau) = f[\omega_{рас}(\tau), \omega_{сх}(\tau), \omega_{тех}(\tau)],$$

где $\omega_{рас}(\tau)$ – параметр совершенства приемов расчета;

$\omega_{сх}(\tau)$ – параметр совершенства схемы канала;

$\omega_{тех}(\tau)$ – параметр совершенства технологии.

Здесь большое место занимают вопросы технической эксплуатации и ремонтов конструктивных элементов и сооружений в целом. Главная проблема заключается в организации системы сбора данных об отказах, о трудоемкости и стоимости проведения ремонтных работ, которые на научной основе позволяют разрабатывать и вводить совершенные системы планово-предупредительных работ для различных типов ГТС.

Таким образом, проблема эксплуатационной надежности охватывает широкий круг вопросов, направленных на обеспечение и поддержание высокой надежности, как отдельных конструктивных элементов, так и сооружения в целом.

К любому водному объекту предъявляется ряд требований, которые выражаются через определенную совокупность показателей качества этого объекта. Сопоставляя надежность с категорией качества, можно установить, что качество носит всеобщий характер. По отношению к качеству надежность имеет подчиненный характер, так как выражает только одну из его сторон: эффективность функционирования в зависимости от ряда показателей, часть из которых связана с факторами эксплуатации.

Надежность сооружения должна рассматриваться не только в зависимости от его прочности и устойчивости, но также с точки зрения возможности поддерживать в течение всего срока службы, предусмотренного для этого сооружения, и условий нормальной эксплуатации. Безопасность эксплуатации – самое важное требование, предъявляемое к сооружению.

Однако расчеты надежности строительных конструкций остаются пока специфическими и не регламентируются нормами СНиП [34].

В настоящее время принципиально новым является количественный подход к решению задач надежности сооружений, в отличие от качественной оценки, осуществляемой ранее.

Современная теория надежности разработана в трудах математиков и инженеров разных стран. Большой вклад в развитие теории надежности работы ГТС внесли отечественные ученые: Ц. Е. Мирцхулава, В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов и др. [10, 35, 29].

Необходимо отметить, что результаты исследований надежности конструктивных элементов сооружений не позволили пока выявить основные закономерности для прогнозирования их долговечности. Основой современной теории надежности является статистический подход к изучению таких событий как отказ и восстановление.

Для применения методов математической статистики весьма важным является возможность многократного осуществления случайного события в практически одинаковых условиях.

Физический подход к изучению надежности сооружений имеет много преимуществ перед вероятностным. При таком подходе оценивается надежность данного конкретного элемента и имеется возможность с помощью специальных приборов и методов расчета количественно измерить и контролировать надежность гидротехнических сооружений.

Однако, как отмечено выше, отказы сооружений наступают чаще всего из-за ряда причин. Более 80 % деформаций конструкций и сооружений связано с воздействием ряда факторов, изучение которых в комплексе затруднено. Кроме того, физический подход к изучению надежности ГТС не позволяет учитывать фактор времени, являющийся основным при расчетах надежности. Поэтому, оценивая надежность элемента, нужно знать, какие типы отказов представляют наибольшую опасность для конкретного сооружения и как скоро нормальные параметры работы сооружений начнут меняться, угрожая отказом.

Условно отказы строительных элементов можно разделить на два класса: внезапные и постепенные. Внезапный отказ – это практически мгновенный выход из строя элемента сооружения, который не может быть предсказан по изменению величины эксплуатационных параметров во времени. Постепенный отказ – это длительный выход из параметров, характеризующих работоспособность, за пределы нормативных допусков. При нормальных условиях эксплуатации ГТС мелиоративного назначения имеет место их постепенный износ. Поэтому одной из важнейших задач исследования эксплуатационной надежности сооружений является прогнозирование постепенных отказов.

Четкой границы между внезапными и постепенными отказами, однако, провести не удастся. Механические, физические и химические процессы, которые составляют причины отказов, как правило, протекают во времени достаточно медленно. Так, усталостная трещина в стенке трубопровода или сосуда давления, зародившаяся из трещинообразного дефекта, медленно растет в процессе эксплуатации; этот рост, в принципе, может быть прослежен средствами неразрушающего контроля. Однако собственно отказ (наступление течи) происходит внезапно.

Если по каким-либо причинам своевременное обнаружение несквозной трещины оказалось невозможным, то отказ придется признать внезапным.

По мере совершенствования расчетных методов и средств контрольно-измерительной техники, позволяющих своевременно обнаруживать источники возможных отказов и прогнозировать их развитие во времени, все большее число отказов будет относиться к категории постепенных.

На рисунке 7 представлена схема увеличения износов сооружений и снижения надежности в зависимости от времени и области технического обслуживания, технической эксплуатации и предельных состояний.

Как видно из рисунка 7, зона технического обслуживания и технической эксплуатации представляет собой совокупность работоспособных состояний сооружений. Для поддержания исправности объекта в зоне интен-

сивных износов производятся текущие и капитальные ремонты сооружений. Верхней границей зоны предельных состояний является уровень, превышение которого по техническим или экономическим соображениям ведет к нецелесообразности осуществления любых видов ремонтных работ. Состояние сооружения в целом для зоны предельных состояний может быть оценено как аварийное.

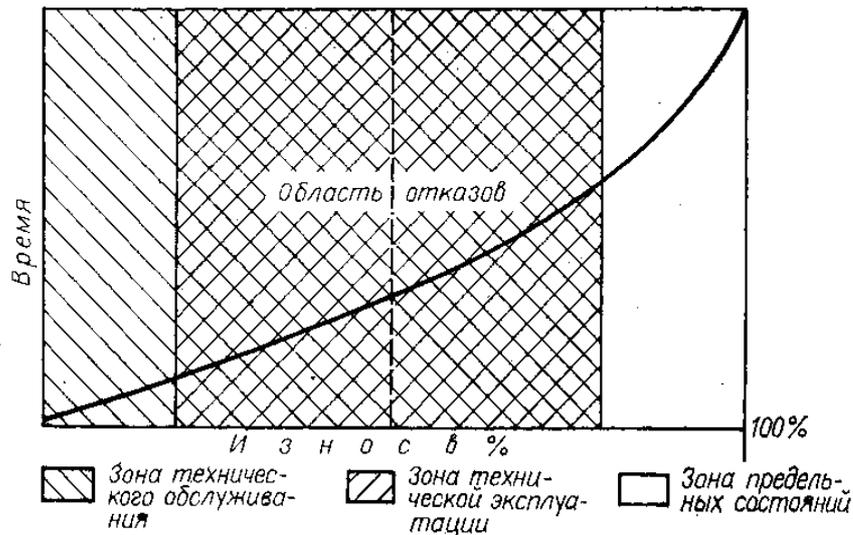


Рисунок 7 – Увеличение износов и снижение надежности работы сооружений в зависимости от времени эксплуатации

При исследованиях надежности обычно рассматривается вероятность события, состоящего в том, что в течение некоторого интервала времени отказа сооружения не произойдет. Вероятность такого события является вероятностью безотказной работы. Для обеспечения нормального функционирования сооружения (либо его элемента) в целом необходимы определенные затраты. Вероятность безотказной работы объекта, при которой затраты, связанные с его строительством и эксплуатацией, будут наименьшими, в дальнейшем будем называть оптимальной надежностью.

Методы статистической теории надежности позволяют установить требования к надежности компонентов и элементов на основании требований к надежности объекта в целом.

Статистическая теория надежности является составной частью более общего подхода к расчетной оценке надежности технических объектов,

при котором отказы рассматривают как результат взаимодействия объекта как физической системы с другими объектами и окружающей средой, так при проектировании гидротехнических сооружений и конструкций учитывают в явной или неявной форме статистический разброс механических свойств материалов, элементов и соединений, а также изменчивость (во времени и в пространстве) параметров, характеризующих внешние нагрузки и воздействия. Большинство показателей надежности полностью сохраняют смысл и при более общем подходе к расчетной оценке надежности. В простейшей модели «параметр нагрузки – параметр прочности» вероятность безотказной работы совпадает с вероятностью того, что в пределах заданного отрезка времени значение параметра нагрузки ни разу не превысит значение, которое принимает параметр прочности. При этом оба параметра могут быть случайными функциями времени.

На стадии проектирования и конструирования показатели надежности трактуют как характеристики вероятностных или полувероятностных математических моделей создаваемых объектов. На стадиях экспериментальной отработки, испытаний и эксплуатации роль показателей надежности выполняют статистические оценки соответствующих вероятностных характеристик.

Недостаточный объем статистических данных, характеризующих надежность гидротехнических сооружений, существенно затрудняет определение параметров их надежности. Это зачастую рассматривается как серьезное препятствие для использования статистических методов.

Используя теоретические основы и практический опыт технической эксплуатации для конкретных сооружений, с достаточной степенью достоверности можно определить количественные и качественные показатели надежности работы ГТС для оценки уровня безопасности их работы.

Проведенными в ФГНУ «РосНИИПМ» исследованиями установлены основные причины, вызывающие снижение надежности ГТС мелиоративного назначения и каналов (рисунок 8).



Рисунок 8 – Причины, вызывающие снижение надежности ГТС и каналов

5 Теоретические основы и практика эксплуатации ГТС

Теоретические основы технической эксплуатации составляют:

- теория долговечности и надежности, износа, коррозии и защиты конструкций и материалов;
- методика исследования и учета воздействия на конструкции внешних и внутренних факторов;
- диагностика повреждений и методика оценки эксплуатационной пригодности сооружений;
- разработка эффективных методов и конструкций ремонта и восстановления сооружений;
- разработка и внедрение машин и приборов для эксплуатации и восстановления ГТС.

Практика технической эксплуатации включает:

- уход за конструкциями, оборудованием, его наладку, обеспечение требований технологии;
- установку специальных приборов, приспособлений и оборудования для проведения мониторинга;
- организацию мониторинга, технических осмотров сооружений, контроль эксплуатационной пригодности нормативных параметров эксплуатационных качеств, диагностики повреждений;
- профилактические текущие и капитальные ремонты замена и усиление конструкций.

Структурную схему работ по исследованию и повышению надежности каналов и сооружений на них можно представить в следующем виде (рисунок 9).

Служба эксплуатации должна хорошо знать устройства сооружений, функциональные назначения, параметры эксплуатационных качеств (ПЭК), условия работы конструкции, технические нормативы на материалы и конструкции, требуемые для ремонта. По внешним признакам и с по-

мощью диагностических приборов служба эксплуатации должна уметь оценить техническое состояние ГТС, выявить наиболее уязвимые места, с которых может начаться разрушение конструкции, выбрать самые эффективные способы и средства его предупреждения и устранения, не прекращая, по возможности, работу сооружения.



Рисунок 9 – Структурная схема работ по повышению надежности

Разработка руководящего технического материала (РТМ) производится для достижения оптимального уровня надежности. Составные части теории и практика эксплуатации (ТОиР) представлены на рисунке 10.

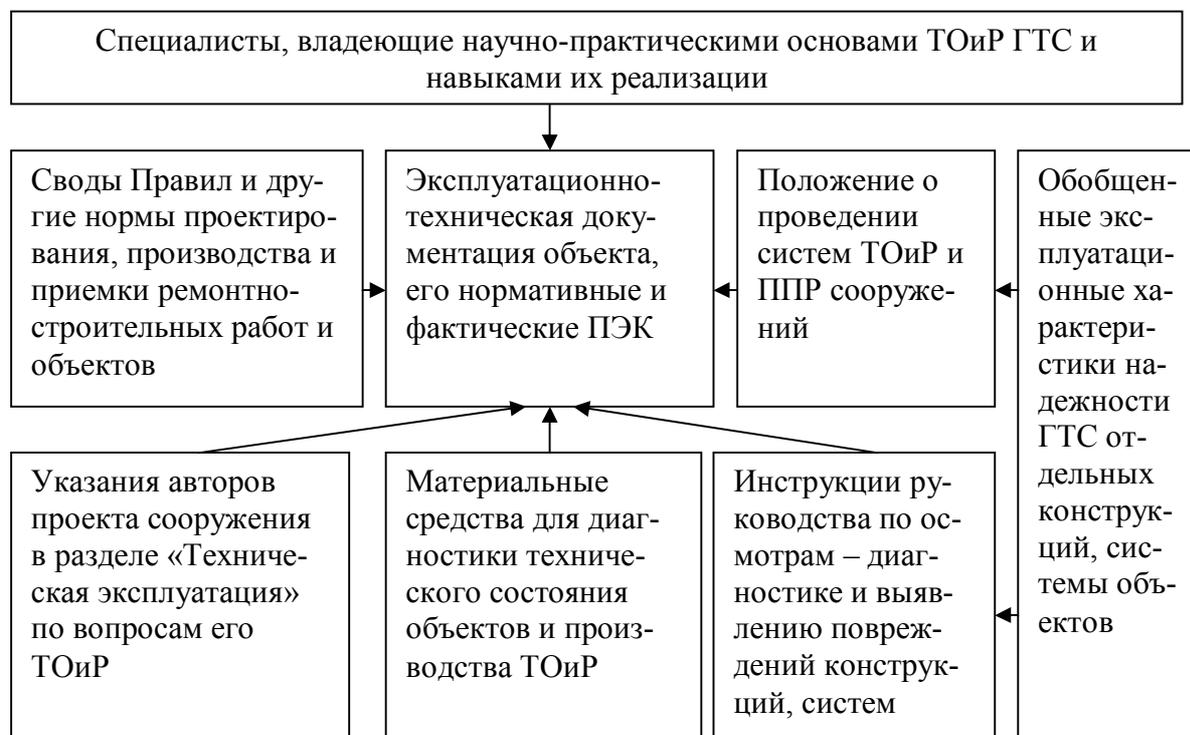


Рисунок 10 – Составные части теории и практики эксплуатации ГТС

При помощи теоретических основ эксплуатации обосновывается необходимость и сроки проведения эксплуатационных работ. Принятие практических решений при эксплуатации должно базироваться на следующих данных:

- значение числовых значений ПЭК, которые требуется поддерживать на заданном уровне;
- установление закономерностей воздействия внешних и внутренних факторов;
- выявление характерных дефектов и повреждений и назначение способов их устранения;
- выбор способа контроля ПЭК и методов обнаружения дефектов, повреждений, неисправностей;
- определение способа и порядка наиболее рационального восстановления ПЭК сооружений;
- назначение периодических ремонтов и объемов работ, расчет необходимых материалов и денежных средств;
- рациональное решение вопросов штатной структуры, численности и квалификации эксплуатационного персонала.

Таким образом, поддержание в сооружениях в течение нормативного срока службы проектных параметров эксплуатационных качеств составляет научно-практическую основу технической эксплуатации ГТС.

6 Анализ качественных и количественных показателей надежности работы мелиоративных ГТС

Основным определяющим фактором, влияющим на надежность при эксплуатации ГТС, является время. Именно время служит основным критерием для разработки требований к возможности долговечного использования ГТС по назначению с требованиями функциональности. Невыполнение ГТС заданных функций в установленное время является причиной убытков, которое несет государство или отдельное физическое

лицо из-за ненадежности ГТС. По ГОСТу, надежность объекта рассматривается как комплексное свойство, определяемое показателями: безотказностью, ремонтпригодностью, долговечностью, сохраняемостью.

От правильного выбора номенклатуры основных показателей при оценке эксплуатационной надежности ГТС во многом зависит уровень затрат на эксплуатацию и ремонт. Показатели, характеризующие надежность, показаны на рисунке 11.

В данном разделе рассматриваются количественные характеристики нескольких свойств, определяющих надежность сооружений. Нормирование надежности, т.е. установление количественных и качественных требований к надежности обычно производится в нормативно-технической или проектной документации. Кроме того, нормирование надежности включает: номенклатуру нормируемых показателей надежности; технико-экономическое обоснование значений показателей надежности сооружения; требования к точности и достоверности исходных данных; формулирование критериев отказов, повреждений и предельных состояний; требования к методам контроля надежности на всех этапах жизненного цикла сооружения. Численные значения нормируемых показателей надежности для гидротехнических сооружений должны быть определены в нормативно-технической или проектной документации на объект (в данном случае – на сооружение).

Основным показателем надежности, обеспечивающим, выполнение сооружением функциональных требований, является безотказность – свойство сооружений непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени эксплуатации. К параметрам, характеризующим безотказность, относятся кинематические и динамические параметры, показатели конструкционной прочности (в том числе фильтрационной) устойчивости, пропускной способности, т.е. параметры эксплуатационных качеств.

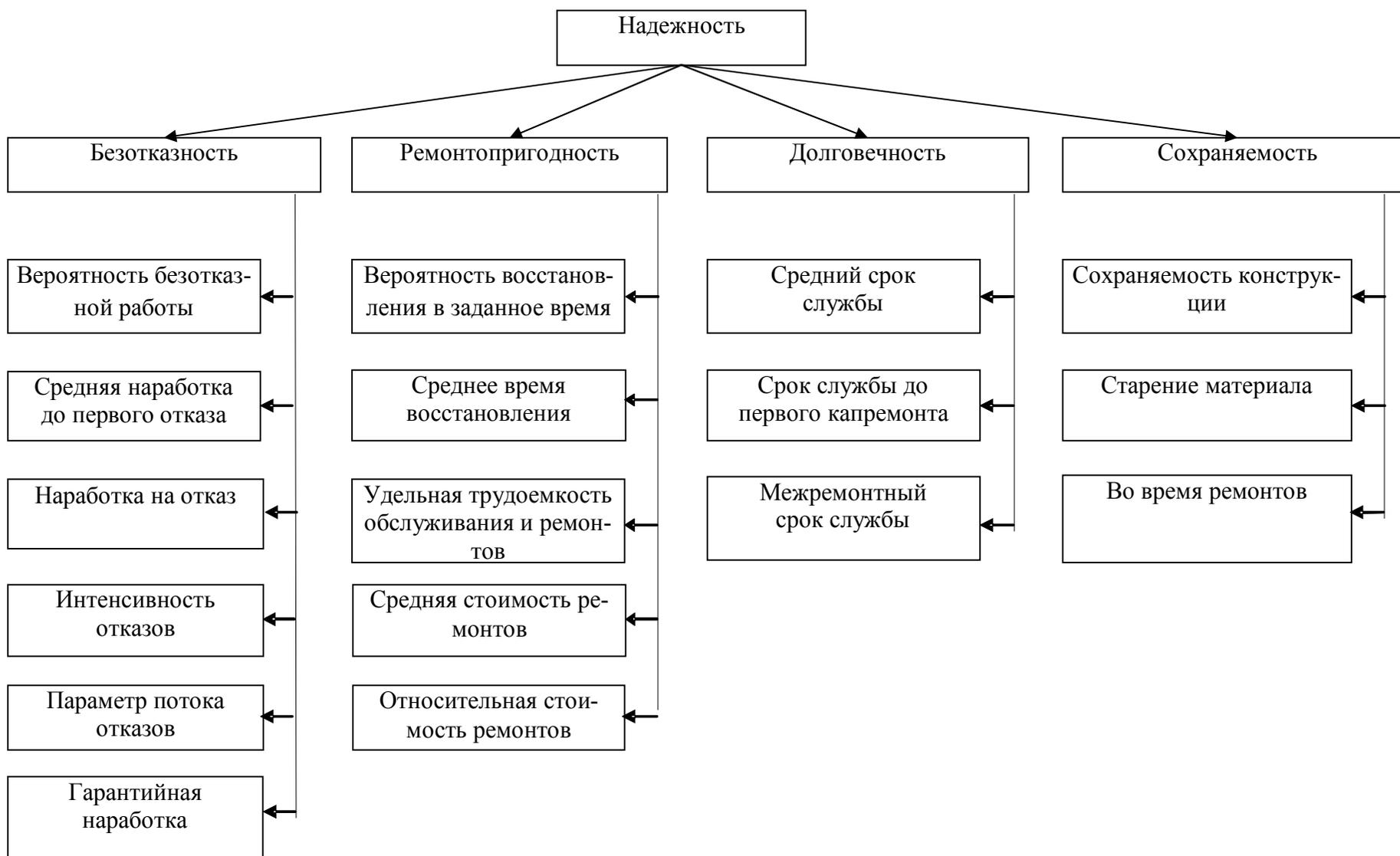


Рисунок 11 – Показатели надежности эксплуатации ГТС мелиоративного назначения

Учет на стадии проектирования ГТС эксплуатационных требований позволяет обеспечить длительную сохранность конструктивных основных элементов ГТС и инженерного оборудования в исправном состоянии, снизить стоимость трудоемких ремонтных работ. Именно поэтому должны проводиться научные исследования по определению эксплуатационных качеств на отдельных сооружениях-представителях. Цель таких исследований – дать рекомендации по повышению безотказности водных объектов для обеспечения необходимой эксплуатационной надежности новых или реконструируемых ГТС.

На основании теоретических проработок и опыта проектирования, строительства и эксплуатации определяются количественные значения показателей безотказности.

Для достоверной оценки эксплуатационной надежности по безотказности гидротехнических сооружений должно быть введено систематическое наблюдение за качеством их эксплуатации, за сбором и обобщением данных о работе отдельных элементов и сооружений в целом и регистрацией отказов и их технического состояния в специальных журналах.

Другим важным показателем надежности является долговечность, основной характеристикой которой является время. Долговечность характеризуется временем, в течение которого в сооружениях с ремонтными перерывами эксплуатационные качества сохраняются на заданном в проекте (нормах) уровне. Время определяет основные показатели долговечности: срок службы и ресурсы работы конструктивных элементов и сооружения в целом до ремонтов и до его ликвидации. Количественно долговечность оценивается техническим ресурсом, т.е. суммарной наработкой сооружений до предельного состояния. На практике удобно рассматривать срок службы как календарную продолжительность эксплуатации сооружения до предельного состояния. Предельное состояние может быть установлено не только по требованиям безопасности, но и по экономическим, техниче-

ским и другим показателям. На практике существуют различные мнения о выборе тех или иных показателей для оценки долговечности сооружений.

Возможные пути назначения норм долговечности исследованы в работе Дружинина Г. В. [36]. При назначении срока службы сооружений должны учитываться технические и экономические показатели и факторы, определяющие долговечность сооружений. В практике гидротехнического строительства при назначении сроков службы сооружений учитываются основное их назначение и условия безопасности. В России принята классификация по капитальности и уровню ответственности, по которым определяется срок службы. В соответствии с СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения», срок службы для сооружений I, II и III классов (повышенного уровня ответственности) – 100 лет, для IV класса (нормальный уровень ответственности) – 50 лет.

Необходимо учесть, что долговечность того или иного гидротехнического сооружения определяется сроком службы основных конструктивных элементов.

Кроме понятия нормативного срока службы, в практике используется понятие среднего срока службы. Средний срок службы сооружения в целом, так и отдельных элементов может быть обоснован статическими данными по отказам конструкций. Однако необходимо учитывать, что фактические сроки службы исследуемых конструктивных элементов могут быть как большими, так и меньшими, относительно среднего срока службы. Наряду со сроками службы в перечень показателей долговечности, установленных ГОСТ 13377-75 [37], включены также сроки службы до ремонта (межремонтные сроки службы). Многие авторы считают целесообразным устанавливать также оптимальный срок службы, т.е. экономически выгодный технический ресурс. Оптимальным сроком службы сооружений по экономическим показателям будет срок службы, при котором либо общие затраты на эксплуатацию, либо суммарные приведенные затраты на возведение и эксплуатацию будут минимальными.

Опыт эксплуатации сооружений показывает, что в нормальных условиях большинство конструкций за нормативный срок службы не исчерпывает физико-механических качеств материалов и поэтому не полностью характеризуют свою долговечность. Технический срок службы конструкций сооружений почти всегда больше нормативного. Исследования авторов А. Л. Шагина, М. Д. Бойко [38, 39], а также исследования А. Г. Роймана, Н. Г. Смоленской и С. Ш. Зюбенко [40, 41], посвященные долговечности сооружений, показали, что фактические сроки службы элементов и конструкций сооружений подчиняются нормальному закону распределения, а защитных сооружений – экспоненциальному закону. Выбор закона распределения для определения срока службы различных типов гидротехнических сооружений и на сегодняшний день представляет достаточно актуальную задачу для специалистов-гидротехников и требует дальнейшего исследования.

Излишняя долговечность строительных элементов как в новом строительстве ГТС, так и при ремонтах будет связана с удорожанием строительства и реконструкции, а недостаточная долговечность – с удорожанием эксплуатации сооружений. Именно поэтому в настоящее время уделяется внимание не только долговечности сооружений, но и вопросам их ремонтпригодности и безотказности.

Одним из важных показателей надежности является ремонтпригодность. В широком смысле термин «ремонтпригодность» эквивалентен международному термину «приспособленность к поддержанию работоспособного состояния», т.е. безотказности. Кроме того, понятие «ремонтпригодность» включает в себя «обслуживаемость», т.е. приспособленность сооружений к техническому обслуживанию, контролепригодность и приспособленность к предупреждению и обнаружению отказов и повреждений, а также – причин, их вызывающих.

Анализ научных работ, а также нормативных данных по количественным характеристикам надежности различных технических систем пока-

зывает, что основными показателями, отражающими наиболее важные признаки ремонтпригодности, являются затраты времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт (далее ТОиР). Это позволяет предложить для оценки ремонтпригодности при ТОиР следующий ряд показателей: суммарная трудоемкость ТОиР для всей ГТС; трудоемкость ТОиР отдельного вида элемента ГТС; удельная трудоемкость ТОиР; суммарная продолжительность ТОиР для всей ГТС; продолжительность ТОиР отдельного элемента; суммарная стоимость ТОиР; стоимость ТОиР отдельного элемента; удельная стоимость ТОиР; коэффициент готовности и ремонтпригодности; коэффициент доступности; коэффициент легкосъемности; коэффициент контролируемости.

Другой эксплуатационной характеристикой подсистемы является эргономичность, что, на наш взгляд, представляет собой дополнительное свойство ремонтпригодности, которое включает в себя понятие «обслуживаемость», т.е. приспособленность объекта, – в данном случае ГТС, – к технологическому и техническому обслуживанию. При оценке эргономичности ГТС должны рассматриваться вопросы эксплуатации технического обслуживания и ремонта.

В более широком смысле эргономика – область науки, исследующая человека (или группу людей) и его (их) деятельность в условиях производства с целью улучшения орудий, условий и процесса труда.

Кроме того, допускается дополнительно к этим терминам применять термины «контролепригодность», «приспособленность к диагностированию», «эксплуатационная технологичность».

Количественные показатели, а также качественная оценка ремонтпригодности должны быть определены при разработке проекта в разделе «Инструкции по эксплуатации конкретного элемента (канала, сооружений)», но, как правило, такие данные отсутствуют. Опыт показывает, что основным условием выбора состава показателей ремонтпригодности является минимизация экономических критериев из-за остановки, неработо-

способности того или иного элемента ГТС. Если же потери из-за остановки значительны и превосходят затраты на ремонт, тогда в качестве основных нормируемых показателей ремонтпригодности применяются временные (т.е. показатели убытков, последовавших в результате неработоспособности ГТС). Опыт эксплуатации ГТС показывает, что, в основном, потери от остановки незначительные, а затраты на ремонт существенные, поэтому, обычно, принимаются экономические и технические показатели ремонтпригодности.

В понятие «техническое обслуживание и ремонт» включены затраты только на техническое обслуживание и текущие ремонты (затраты на капитальные ремонты и реконструкцию оцениваются отдельно).

Эффективность эксплуатации определяется по количественным показателям ремонтпригодности и эргономичности в сравнении с базовыми.

Путем сопоставления полученных значений показателей ремонтпригодности конкретных ГТС с базовыми оценивается их техническое состояние.

Для оценки ремонтпригодности и эргономичности ГТС в целом достаточно следующих показателей:

1 Годовая суммарная трудоемкость ТОиР по ГТС.

Определяется как сумма трудоемкостей по ТОиР всех элементов, которые ремонтировались в течение года. Расчет производится по формуле:

$$Tr_{\text{рем}} = \sum_{i=1}^n Tr_i^3,$$

где Tr_i^3 – трудоемкость ремонта i -го элемента, чел.-ч;

n – число сооружений (элементов) на ВС, на которых производился ТОиР.

ФГНУ «РосНИИПМ» рекомендует плановую систему технического обслуживания и ремонта, которая предусматривает выполнение текущих и капитальных ремонтов через строго определенные промежутки времени [10, 11]. Кроме того, этой системой предусматривается выполнение вне-

плановых аварийных работ, финансовые отчисления на которые должны быть в пределах 20 % от общих затрат на текущий ремонт. Работы на ГТС должны быть спланированы так, чтобы суммарная годовая трудоемкость ТОиР по годам отличалась от предыдущего года не более чем на 10 % (трудоемкость выполнения капитальных ремонтов не учитывается).

2 Удельная годовая трудоемкость ремонта ГТС.

Рекомендуется выражать отношением суммарной трудоемкости ремонта за календарный год к осредненному секундному расходу \bar{Q}_c (m^3/c), на головном водозаборном сооружении:

$$T_{p\text{ уд}} = \frac{T_{p\text{ рем}}}{Q_c}.$$

3 Суммарная (в течение года) продолжительность ремонтов T_p определяется по формуле:

$$T_{p\text{ рем}} = \sum_{i=1}^n T_{p\text{ рем}i}^э,$$

где $T_{p\text{ рем}i}^э$ – продолжительность ремонта i -го элемента (сооружения), час;

n – количество сооружений (элементов), находившихся в ремонте.

4 Суммарная годовая стоимость ТОиР C_p (без учета стоимости капитальных ремонтов) определяется по формуле:

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_{p\text{ рем}i}^э \leq 0,02(C_6^{BC}),$$

где n – число отремонтированных элементов (сооружений);

C_6^{BC} – балансовая (первоначальная или восстановительная) стоимость ВС, руб.;

$C_{p\text{ рем}i}^э$ – стоимость ремонта i -го элемента (сооружения).

Суммарные ежегодные затраты на ТОиР (с учетом только текущих ремонтов) по годам не должны превышать затраты предыдущего года более чем на 10-15 % в современных ценах.

По результатам обследования и изучения опыта эксплуатации Южного и Северо-Кавказского округов ФГНУ «РосНИИПМ» рекомендует планировать ежегодные суммарные затраты на ТОиР (без учета капитальных ремонтов) до 2 % от первоначальной (восстановительной) стоимости сооружения в современных ценах. Это не означает, что в ремонте будут находиться все сооружения. Каждый элемент (сооружение) должен иметь научно обоснованный ремонтный срок службы.

5 Годовые затраты (но не ежегодные) на ТОиР отдельных элементов (сооружений) $C_{pi}^{\text{э}}$ не должны превышать 40 % от их балансовой первоначальной (восстановительной) стоимости ($C_{\text{би}}^{\text{э}}$), в противном случае необходимо планировать выполнение капитальных ремонтов или реконструкции элементов (сооружений), при этом затраты на их проведение не должны превышать 70 % от первоначальной (восстановительной) стоимости элемента (сооружения).

$$C_{pi}^{\text{э}} \leq 0,4C_{\text{би}}^{\text{э}},$$

где $C_{pi}^{\text{э}}$ – стоимость ремонта i -го элемента (сооружения);

$C_{\text{би}}^{\text{э}}$ – первоначальная балансовая (восстановительная) стоимость i -го ремонтируемого элемента (сооружения).

6 Коэффициент готовности (K_r) – вероятность того, что ГТС будет работоспособно в произвольно выбранный момент времени в промежутках между выполнениями планового ТОиР зависит от уровня ответственности ГТС и определяется по формуле:

$$K_r = \frac{T}{T + T_{\text{в}}} \geq 0,95,$$

где T – время нахождения ГТС в работоспособном состоянии;

$T_{\text{в}}$ – время восстановления (ремонта).

7 Коэффициент технического обслуживания – отношение математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии $\bar{T}_{\text{сум}}$ за некоторый период эксплуатации к сумме математического ожидания времени пребывания объекта в работоспособном состоянии, времени простоев \bar{T} , обусловленных техническим обслуживанием $\bar{T}_{\text{обсл}}$, времени плановых и межплановых ремонтов $\bar{T}_{\text{рем}}$ за тот же период эксплуатации. Этот коэффициент определяется по формуле:

$$K_{\text{т.о.}} = \frac{\bar{T}_{\text{сум}}}{\bar{T}_{\text{сум}} + \bar{T}_{\text{рем}} + \bar{T}_{\text{обсл}}} \geq 0,95.$$

В случае, если ГТС обеспечивает систему водоснабжения, то коэффициент технического обслуживания должен быть $K_{\text{т.о.}} \geq 0,95$, т.к. системы водоснабжения рассчитаны на обеспеченность $P = 95\%$.

8 Коэффициент ремонтпригодности элемента (сооружения) определяется по формуле:

$$K_p^3 = \frac{C^{\text{э}} p_i}{C^{\text{э}} b_i} \leq 0,4.$$

Для ремонтпригодности используется коэффициент оперативной готовности

$$K_{\text{о.г.}} = K_{\text{г}} P(t_p),$$

где $P(t_p)$ – вероятность безотказной работы объекта в течение срока службы.

9 Коэффициенты доступности ($K_{\text{д}}$) при выполнении ТОиР или легкосъемности ($K_{\text{л}}$), характеризующие напрямую эргономичность, определяют по следующим формулам:

$$K_{\text{д}} (K_{\text{л}}) = \frac{\bar{T}_{\text{р осн}}}{\bar{T}_{\text{р осн}} + \bar{T}_{\text{р доп}}} \geq 0,95,$$

где $T_{\text{р осн}}$ и $T_{\text{р доп}}$ – средняя трудоемкость основных и дополнительных видов работ элементов (сооружений) при выполнении ТОиР.

Количественные показатели ремонтпригодности, как и других показателей надежности, – величины случайные. Для их установления должны использоваться приемы теории вероятности, математической статистики и теории массового обслуживания. Поэтому для получения достоверной информации по ремонтпригодности необходимо по каждой ГТС иметь банк данных по основным параметрам, характеризующим их работу.

Эргономичность напрямую зависит от технических средств эксплуатации и управления, которые включают комплекс технологического оборудования, приборов и датчиков для сбора, обработки и передачи информации и формированию сигналов или команд, управляющих технологическими оборудованием и процессами на ГТС. Высокой эффективностью и приспособленностью к обслуживанию обладают средства местной электроавтоматики, которые включают в себя электрифицированные подъемники затворов, датчики контроля технологических параметров, шкафы управления и щиты автоматики, программные и измерительные устройства.

Эффективность работы управляемых объектов ГТС обеспечивается диспетчеризацией, т.е. централизованным оперативным контролем и управлением технологическим оборудованием с использованием современных средств передачи и обработки информации и управления технологическими процессами на ГТС.

Диспетчерской связью должны быть оборудованы все управленческие объекты (водозаборные сооружения, насосные станции, узлы командования, шлюзы-регуляторы, точки выдела воды, поливная техника), позволяющие обеспечить удобство и высокую степень эргономичности их обслуживания.

Кроме того, изучение опыта эксплуатации сооружений и технических средств других отраслей показывает, что наиболее эффективной системой эксплуатации является планово-предупредительная система. ФГНУ «РосНИИПМ» рекомендует для ГТС планово-предупредительную систему эксплуатации, как наиболее эффективную и надежную, схема которой представлена в работе академика В. Н. Щедрина [42]. Систему эксплуа-

тации можно подразделить на две подсистемы: управляющая и управляемая, которые должны быть максимально оборудованы и приспособлены к обслуживанию.

Исследования, проведенные за последние годы, нормативные данные по ремонтпригодности различных технических систем, а также опыт эксплуатации и ремонтно-восстановительных работ гидротехнических сооружений позволяют предложить в первом приближении ряд показателей для оценки ремонтпригодности, плановых ремонтов и технического обслуживания:

- суммарная трудоемкость (технического обслуживания);
- трудоемкость ремонта (технического обслуживания) данного вида;
- удельная трудоемкость ремонтов (технического обслуживания);
- суммарная продолжительность ремонтов (технического обслуживания);
- продолжительность ремонта (технического обслуживания) определенного вида;
- суммарная стоимость ремонтов (технического обслуживания);
- стоимость ремонта (технического обслуживания) определенного вида;
- удельная стоимость ремонта (технического обслуживания);
- коэффициент готовности и ремонтпригодности; коэффициент доступности;
- коэффициент легкоъемности; коэффициент контролируемости.

Ремонтпригодность канала оценивается также комплексными показателями надежности. К ним относятся следующие коэффициенты готовности: вероятность того, что канал окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается; коэффициент технического обслуживания; коэффициент ремонтпригодности объекта.

Представленные базовые количественные показатели ремонтпригодности и эргономичности ГТС получены на основании изучения нормативной документации, научно-технических работ и опыта эксплуатации ГТС. Обследования водохозяйственных систем и гидротехнических сооружений мелиоративного назначения Южного и Северо-Кавказского федеральных округов позволили определить их реальные показатели по ремонтпригодности, эргономичности и связанные с ними технические параметры (коэффициент полезного действия, фильтрационные потери, геометрические и гидравлические параметры – пропускную способность, площадь живого сечения, средние скорости потока и т.д.), которые дали возможность определить качественную оценку технического состояния ГТС как не вполне удовлетворительное, а некоторых участков каналов и сооружений как неудовлетворительное, и очень низкие показатели ремонтпригодности и эргономичности. Изучая опыт эксплуатации ГТС, кроме ГОСТовских и их нормативных количественных показателей надежности, дополнительно приведены гидравлические и прочностные характеристики сооружений, выполнение которых обеспечивает их безотказную и надежную работу (таблица 8). Гидравлические показатели приняты из научно-технической литературы и по разработкам РосНИИПМ.

Таблица 8 – Нормативные показатели надежности ГТС мелиоративного назначения и каналов

Нормативные показатели	Условия надежности	Условия гидравлической эффективности
1	2	3
Вероятность безотказной работы	$P = 1^{-\lambda t} \geq 0,97,$ где λ – интенсивность отказов; t – время эксплуатации	- по поддержанию гидравлического перепада: $\varphi(Z) = z - z_p \leq 0$
Коэффициент готовности объекта	$K_g = \frac{T_H}{T_H + T_P} \geq 0,95,$ где T_H – время исправной работы; T_P – время ремонта	- по пропускной способности: $\varphi(Q) = Q - Q_p \rightarrow 0$

Продолжение таблицы 8

1	2	3
Коэффициент экономичности эксплуатации	$K_{\text{э}} = \frac{C_{\text{м.о.}}}{C_{\text{м.о.}} + C_{\text{р}}} \geq 0,85,$ где $C_{\text{м.о.}}$ – стоимость техобслуживания; $C_{\text{р}}$ – стоимость ремонта	- по соблюдению за-топленного режима сопряжения в нижнем бьефе: $\varphi(h_c'') = h_c'' - h_o < 0$
Коэффициент ремонтпригодности объекта	$K_{\text{р}} = \frac{C_{\text{р}}}{C_{\text{к}}} \leq 0,5 - 0,8,$ где $C_{\text{р}}$ – стоимость ремонта; $C_{\text{к}}$ – стоимость конструкции	- по вероятности безотказной работы: $\varphi(P) = P - P_{\text{пр}} > 0$
Долговечность объекта	Срок службы основных элементов водного объекта и в целом определяется классом	- по фильтрационной деформации грунта основания: $l_{\text{вых}} \leq \frac{l_{\text{кр}}}{m}$

Изучение опыта эксплуатации и проведенные исследования ГТС мелиоративного назначения в Южном и Северо-Кавказском Федеральных округах позволили определить оптимальные количественные значения оценки ремонтпригодности, которые ФГНУ «РосНИИПМ» рекомендуются как базовые. Для конкретного сооружения нормативные (диагностические) количественные значения безотказности определяются расчетным путем при проектировании, должны быть занесены в паспорт сооружения и контролироваться при проведении технических осмотров сооружения или мониторинга.

7 Обобщение опыта эксплуатации ГТС мелиоративного назначения

В процессе эксплуатации материал конструкции ГТС подвергается физическому износу и химической коррозии, что приводит к потере эксплуатационных свойств конструкций и инженерных систем ГТС, восстановление которых производится в процессе эксплуатации методами технического обслуживания и капитального ремонта.

В практике эксплуатации элементов ГТС применяют два принципиально отличных друг от друга метода организации технического обслуживания и ремонта.

Первый метод предусматривает проведение периодических осмотров

для определения технического состояния элементов ГТС и необходимости их ремонта. В этом случае объем и сроки проведения эксплуатационных мероприятий могут быть установлены только после осмотров конструктивных элементов инженерных систем.

Второй метод, рекомендуемый ФГНУ «РосНИИПМ», предусматривает выполнение ремонтных и наладочно-регулирующих работ в заранее запланированные сроки, предупреждающие отказ конструктивных элементов и инженерных систем. Такой метод технической эксплуатации ГТС называется системой планово-предупредительных ремонтов. Само название системы определяет ее содержание: «плановый» – означает, что все мероприятия технической эксплуатации выполняются в заранее запланированные сроки; «предупредительный» – указывает на то, что выполняемые мероприятия предусматривают предупреждение преждевременного износа элементов гидротехнического сооружения.

Периодичность проведения капитального и текущего ремонтов конструкций и оборудования, наладка инженерных систем обуславливаются сроком их службы. ГТС можно рассматривать как систему, состоящую из отдельных конструкций, инженерных устройств и оборудования, каждый из которых имеет свой срок службы T_x .

Опытом установлено, что сроки службы одних и тех же конструкций различны. Это различие вызывается множеством причин: нарушением технологии изготовления материалов для конструкций и самих конструктивных элементов, несоблюдением правил складирования и хранения строительных материалов и деталей, а также их транспортировки к месту монтажа, особые приемы монтажа, различные для каждой бригады, особенности эксплуатации и т.д. В технических условиях на изготовление, хранение, транспортировку, монтаж деталей имеются допуски, нормирующие отклонения от действующих стандартов. К сожалению, на практике не всегда выдерживаются эти допуски.

Перечисленные причины не дают возможности заранее определить

срок службы конкретного элемента ГТС. Поэтому на практике пользуются усредненными значениями сроков службы конструкций и инженерных систем. Для их определения применяют методы математической статистики.

Сущность этих методов состоит в следующем. Путем натурных обследований определяют сроки службы большого числа (не менее 50) одного и того же типа элемента гидротехнического сооружения.

По ряду распределения срока службы T_x определяется среднее значение этой величины:

$$\bar{T}_x = \sum_{i=1}^m x_i m_i / m,$$
$$(i = 1, 2, \dots, m),$$

где \bar{T}_x – усредненный срок службы данного элемента;

x_i – возможные конкретные значения сроков службы элемента ГТС, зафиксированные в результате обследования;

m_i – число элементов, имеющих данный срок службы;

m – общее число обследованных элементов.

В конкретных случаях фактические сроки службы имеют отклонения от среднего своего значения, как в большую, так и в меньшую сторону.

В математической статистике для определения численных значений возможных событий введено понятие статистической вероятности. Если произведена серия из K обследований, в каждом из которых могло быть отмечено событие A , состоящее в обнаружении вышедшего из строя (отказавшего) элемента, или такое событие не установлено, то статистической вероятностью (частотой) этого события в данной серии обследований называют отношение числа обследований m_i , в котором появилось интересное нас событие A , к общему числу обследованных элементов. Математически эта зависимость выражается следующим образом:

$$p_i = m_i / m,$$

где p_i – статистическая вероятность появления данного события.

Подставив в данное выражение вместо отношения m_i/m его значение p_i , получим:

$$T_x = \sum_{i=1}^m x_i p_i . \quad (2)$$

Для полного представления о возможных значениях сроков службы данного элемента недостаточно знать только его среднее значение. При определении сроков ремонта элементов ГТС за меру отклонения конкретного значения срока службы от его среднего значения принимают дисперсию D_x , которую определяют по формуле:

$$D_x = \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{T}_x)^2 p_i ,$$

где x_i – возможные значения сроков службы данного элемента;

\bar{T}_x – среднее значение срока службы этого элемента;

p_i – вероятность (статистическая) конкретного значения срока службы.

Дисперсия имеет размерность квадрата срока службы. Для характеристики рассеяния сроков службы удобнее пользоваться величиной, размерность которой совпадает с размерностью сроков службы. Для этого из дисперсии извлекают квадратный корень. Полученное значение называется средним квадратичным отклонением (или «стандартом») срока службы:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} . \quad (3)$$

Выше было отмечено, что срок службы элемента ГТС следует рассматривать как случайную величину, значение которой при большом количестве обследований существенно не влияет на среднее его значение. Случайные отклонения от среднего значения, неизбежные в каждом отдельном обследовании, в совокупности взаимно погашаются, т.е. нивелируются.

Для определения возможных пределов отклонений конкретных значений сроков службы отдельно взятых элементов данного типа от среднего значения сроков службы совокупности обследуемых элементов использу-

ют неравенство Чебышева, которое утверждает, что конкретное значение срока службы элемента ГТС отклонится от своего среднего значения, имеет практические пределы, вне которых появление отказа данного элемента маловероятно. На практике принято, что конкретные значения срока службы элементов зданий не могут выйти за пределы $T_x \pm 3\sigma_x$ (теорема 3-х сигм).

При изучении случайных величин установлено, что распределение их конкретных значений подчиняется определенным закономерностям. Под законом распределения случайной величины понимают зависимость между этой величиной и вероятностью ее появления. Для сроков службы элементов ГТС наиболее близким принято считать закон нормального распределения. Нормальное распределение имеет широкое распространение в природе. Этому закону, в частности, подчиняются распределения таких случайных величин, как погрешности измерений, погрешности изготовления изделий и др. При этом отмечено, что при увеличении числа обследований большинство распределений случайных величин приближаются к нормальному. Из анализа графического изображения плотности нормального распределения срока службы, можно сделать вывод, что нормальный закон в общем виде характеризуется следующими тремя особенностями:

- чем меньше отклонение конкретного значения срока службы от своего среднего значения, тем больше вероятность его появления; с увеличением отклонения конкретного значения срока службы элемента здания от своего среднего значения вероятность его уменьшается;

- отклонения, равные по абсолютной величине, но противоположные по знаку, равновероятны; вероятность отклонения срока службы в большую сторону от среднего значения равна вероятности отклонения в меньшую сторону;

- отклонения сроков службы данного элемента имеют практический предел; отклонения, превышающие этот предел, маловероятны.

Таким образом, можно сделать вывод, что для предупреждения отказа элементов ГТС необходимо обеспечить выполнение планово-предупредительного ремонта в сроки, соответствующие началу роста вероятности отказа. Математическое выражение для определения этого момента:

$$T_{рем} \geq \bar{T}_x - 3\sigma_x,$$

где $T_{рем}$ – межремонтный срок службы элемента ГТС;

\bar{T}_x – среднее значение срока службы, определяемое по формуле (2);

σ_x – среднеквадратическое отклонение сроков службы (стандарт), определяемое по формуле (3).

Производство ремонтных работ раньше этого срока и позже него нецелесообразно. В первом случае ремонтные работы связаны с недоиспользованием эксплуатационных возможностей элементов ГТС; во втором случае производство работ будет связано с наличием неисправностей в сооружении, что недопустимо. Следовательно, основой правильной технической эксплуатации ГТС должна быть система планово-предупредительных ремонтов. Сроки ремонтных работ устанавливаются в зависимости от долговечности элемента, имеющего наименьший межремонтный срок службы, при этом в каждый очередной ремонт этого элемента одновременно будут ремонтироваться другие элементы, срок службы которых к данному моменту будет соответствовать межремонтному сроку. Таким образом, каждый очередной плановый ремонт зданий предусматривает ремонт комплекса элементов; в этом случае для каждого очередного ремонта комплекс ремонтируемых элементов будет отличаться от предыдущего. Кроме того, используя теорему «трех сигм», с большой надежностью можно прогнозировать межремонтные сроки, обеспечивать высокую организацию ремонтных работ при эксплуатации ГТС.

Заключение

Результаты научного обзора по надежности и безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения показывают, что их техническое состояние в последние годы значительно снизилось вследствие достижения ими критического срока службы, составляющего для большинства мелиоративных ГТС IV класса 50-60 лет. Ухудшение технического состояния также связано с уменьшением финансирования на уход и ремонт ГТС, высокой степенью износа отдельных их элементов (креплений верхнего и нижнего бьефов, затворов, подъемных механизмов и др.), что делает исследования в области повышения их надежности и безопасности наиболее значимыми и актуальными на сегодняшний день.

По результатам научно-аналитического обзора по надежности и безопасности ГТС мелиоративного назначения представлены следующие разработки:

- определены контролируемые параметры эксплуатационных качеств: I группа – технологические; II группа – технические;
- определены количественные и качественные значения контролируемых параметров;
- определены количественные и качественные значения технического состояния и уровня безопасности ГТС;
- представлена методика определения межремонтных сроков службы;
- предложены система эксплуатации ГТС;
- предлагается формула для определения межремонтного периода:

$$T_{рем} \geq \bar{T}_x - 3\sigma_x .$$

При разработке научного аналитического обзора использовались как более ранние, так и современные литературные источники, посвященные проблеме надежности и безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения.

Данный научный аналитический обзор является обобщением теории и практики надежной и безопасной эксплуатации ГТС мелиоративного назначения и предназначен для дальнейших исследований в этой области.

Список использованной литературы

1 Ольгаренко, В. И. Эксплуатация и мониторинг мелиоративных систем / В. И. Ольгаренко, Г. В. Ольгаренко, В. Н. Рыбкин; под ред. В. И. Ольгаренко. – Коломна, 2006. – 391 с.

2 Каганов, Г. М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности / Г. М. Каганов, В. И. Волков, О. Н. Черных. – М.: МГУП, 2001. – 60 с.

3 Щедрин, В. Н. Эксплуатационная надежность оросительных систем / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, А. В. Колганов. – Ростов-н/Д: СКНЦВШ, 2004. – 308 с.

4 Косиченко, Ю. М. Вопросы безопасности и эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / Ю. М. Косиченко // Природообустройство. – 2008. – № 3. – С. 67-71.

5 О техническом регулировании: Федеральный закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ: по состоянию на 28 сентября 2010 г. // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

6 Концепция развития национальной системы стандартизации (одобрена Распоряжением Правительства РФ от 28 февраля 2006 г. № 266-р) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://quality.eup.ru/STANDART/standart.htm/2011/02/28/>.

7 ГОСТ Р 1.0-2004. Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения. – Введ. 2004-12-30. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 17 с.

8 Кавешников, Н. Т. Эксплуатация и ремонт гидротехнических сооружений / Н. Т. Кавешников. – М.: Агропромиздат, 1989. – 272 с.

9 Правила эксплуатации мелиоративных систем и отдельно расположенных гидротехнических сооружений: по состоянию на 18 октября 2006 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bestpravo.ru/fed1998/data06/tex20437>, 2006.

10 Мирцхулава, Ц. Е. О надежности крупных каналов / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1981. – 321 с.

11 Попов, М. А. Природоохранные сооружения / М. А. Попов, И. С. Румянцев. – М.: Колос, 2005. – 520 с.

12 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность гидромелиоративных сооружений / Ц. Е. Мирцхулава. – М.: Колос, 1974. – 280 с.

13 О мелиорации земель: Федеральный закон от 10 января 1996 г. № 4-ФЗ: по состоянию на 30 декабря 2008 г. // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

14 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ: по состоянию на 27 июля 2010 г. // Гарант Эксперт 2011 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2011.

15 ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1973-10-31. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 42 с.

16 Каганов, Г. М. Некоторые проблемы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений / Г. М. Каганов, В. И. Волков // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. / ФГОУ ВПО МГУП. – Ч. I. – М.: МГУП, 2006. – С. 426-434.

17 Методические рекомендации по контролю за мелиоративным состоянием орошаемых земель / под ред. В. Н. Щедрина; ФГНУ «РосНИИПМ». – М.: ЦНТИ Мелиоводинформ, 2003. – 323 с.

18 Мирцхулава, Ц. Е. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений: история, настоящее, приоритетные направления / Ц. Е. Мирцхулава / Обзорная лекция на Международном симпозиуме Гидравлические и гидрологические аспекты надежности и безопасности гидротехнических сооружений. – СПб.: «ВНИИГ им Б. Е. Веденеева», 2002. – С. 3-8.

19 Румянцев, И. С. Гидротехнические сооружения: учеб. для техникумов / И. С. Румянцев, В. Ф. Мацея. – М.: Агропромиздат, 1988. – 430 с.

20 Эксплуатация гидромелиоративных систем: пособие к СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы и сооружения». – М.: Союзводпроект, 1991. – 65 с.

21 Технические указания по эксплуатации межхозяйственных оросительных каналов и сооружений: НТД-33.02. АД: утв. М-вом мелиорации и водного хоз-ва УССР 23.01.83. – 1983. – 154 с.

22 Волков, И. М. Проектирование гидротехнических сооружений / И. М. Волков, П. Ф. Кононенко, М. К. Федичкин. – М.: Колос, 1977. – 384 с.

23 Волосухин, В. А. Использование водных ресурсов и безопасность гидротехнических сооружений в бассейне р. Кубань / В. А. Волосухин, М. А. Волинов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2007. – № 4. – С. 65-68.

24 G. Mariner. Safety of Dams in operations. Fourteenth congresson Large Dams. Transactions. 1982, Rio de Janeiro, v.1, General Report, Quest. 52, p. 1471-1510.

25 Анализ основных факторов, вызывающих инциденты и аварии на плотинах, оценка показателей надежности плотин / Г. И. Чоговадзе [и др.] // Гидротехническое строительство. – 1980. – № 7. – С. 34-38

26 Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения: РД 03-626-03: утв. МЧС и Госгортехнадзора Рос. Федерации 15.08.03.– НТЦ «Промышленная безопасность». – М.: 2003. – 45 с.

27 Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений: РД 153-34.2-21.342-00: утв. приказом РАО «ЕЭС России» 27.12.2000: введ. в действие с 01.01.01. – РАО «ЕЭС России». – М.: 2001. – 14 с.

28 Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов: утв. МЧС России 14.08.2001. – М.: Изд-во «ДАР/ВОДГЕО», 2002. – 44 с.

29 Колганов, А. В. Водохозяйственный комплекс Южного Федерального округа / А. В. Колганов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 2-4.

30 Нагорный, В. И. Декларирование безопасности гидротехнических сооружений аккумулирующих водохранилищ Саратовской области / В. И. Нагорный, Г. И. Фомин, Д. В. Чуносков // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 2-4.

31 Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин [и др.]. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2010. – 88 с.

32 Рекомендации по обследованию гидротехнических сооружений с целью оценки их безопасности П 92-2001. – СПб.: ВНИИГ им. Веденеева, 2000. – 47 с.

33 Щедрин, В. Н. Безопасность гидротехнических сооружений мелиоративного назначения / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Е. И. Шкуланов. – М.: «Росинформагротех», 2011. – 268 с.

34 Порывай, Г. А. Предупреждение преждевременного износа зданий / Г. А. Порывай. – М.: Стройиздат, 1979. – 284 с.

35 Щедрин, В. Н. Вопросы контроля технического состояния и безопасности гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин, Ю. М. Косиченко, Г. А. Сенчуков // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск, 2003. – Ч. I. – С. 207-220.

36 Дружинин, Г. В. Процессы технического обслуживания автоматизированных систем / Г. В. Дружинин. – М.: Энергия, 1973 – 315 с.

37 ГОСТ 13377-75. Надежность в технике. Термины и определения. – Введ. 31.01.1975. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 23 с.

38 Реконструкция зданий и сооружений: учеб. для вузов / А. Л. Шагин [и др.]; под ред. А. Л. Шагина. – М.: Высшая школа, 1991. – 352 с.

39 Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений: справ. пособие / М. Д. Бойко [и др.]; под ред. М. Д. Бойко. – М.: Стройиздат, 1993. – 208 с.

40 Ройтман, А. Г. Ремонт и реконструкция жилых и общественных зданий / А. Г. Ройтман, Н. Г. Смоленская. – М.: Стройиздат, 1978. – 386 с.

41 Зюбенко, С. Ш. Количественные характеристики надежности лотковых каналов / С. Ш. Зюбенко. – Труды ВНИИГиМ, 1972. – С. 18-23.

42 Проблемы и перспективы использования водных ресурсов в агропромышленном комплексе России / В. Н. Щедрин [и др.]; под общ. ред. В. Н. Щедрина. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2009. – 342 с.