

МАТВЕЕНКОВ ФЕДОР ВИКТОРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕР ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ
НАДЕЖНОСТИ ГРУНТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
III и IV КЛАССОВ**

Специальность 05.23.07 - Гидротехническое строительство

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена на кафедре «Гидротехнические сооружения» Института природообустройства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева».

Научные руководители:

Румянцев Игорь Семёнович

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени
К.А. Тимирязева

Козлов Дмитрий Вячеславович

доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО РГАУ - МСХА имени
К.А. Тимирязева

Официальные оппоненты: Волосухин Виктор Алексеевич

доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ, профессор кафедры гидротехнических сооружений и строительной механики

Малаханов Вячеслав Васильевич

кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ НИУ МГСУ, профессор кафедры гидротехнического строительства

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)»

Защита диссертации состоится «17» мая 2016 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.043.13 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, учебный корпус № 28, аудитория 201. Тел./факс: 8(499)976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук

М.С. Паливец

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В России большое внимание уделяется безопасности проектируемых, строящихся и эксплуатируемых гидротехнических сооружений (ГТС) в различных отраслях экономики: энергетике, промышленности, сельском, рыбном и водном хозяйстве и др.

Эксплуатационная надежность ГТС и их комплексов является неотъемлемой частью общей безопасности Российской Федерации. В настоящее время в России действуют: Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений»; Технический регламент безопасности зданий и сооружений; нормативные и правовые документы, отражающие основы безопасности гидротехнических сооружений.

В рамках реализации Технического регламента разработан Свод Правил (СП 58.13330.2012), который является актуализированной редакцией СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения», где изложены основные положения проектирования, строительства и эксплуатации ГТС.

Следует отметить, что в соответствии с пунктом 5.3.7 подраздела 5 «Обоснование надежности и безопасности гидротехнических сооружений» раздела 5 «Основные расчетные положения» указанного СНиП, сроки службы ГТС зависят от класса сооружения и принимаются не более расчетных сроков службы: I и II класс – 100 лет; III и IV класс – 50 лет.

Большинство гидросооружений III и IV классов в Российской Федерации построены 30–70 лет назад, соответственно, их нормативный срок эксплуатации исчерпан на 60–100%, а количество ГТС III и IV класса составляет 98,7% от общего количества гидросооружений. По данным Российского регистра ГТС, большинство сооружений III и IV класса либо отработали свой установленный срок службы, либо этот срок заканчивается.

Одновременно с этим в СП 58.13330.2012 порядок и методы продления установленного (нормативного) срока эксплуатации ГТС не регламентированы.

Ответственность за эксплуатацию гидросооружений за пределами установленного (нормативного) срока эксплуатации лежит на собственнике, так как проектная организация, давшая гарантийный срок, ответственности уже не несёт, и строительные организации в данном случае также не несут ответственности, так как срок эксплуатации обосновывается, в том числе, физико-механическими свойствами строительных материалов, которые отслужили установленный срок

эксплуатации.

Учитывая сказанное выше, необходимо детально исследовать проблему эксплуатационной надёжности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов, заключающуюся в продлении установленного срока эксплуатации таких сооружений, которая является недостаточно изученной. Поэтому разработка подходов и мер по продлению установленного срока эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов является актуальной задачей.

Степень её разработанности. Вопросам безопасности гидротехнических сооружений посвящено много работ российских и зарубежных учёных, но до сих пор отсутствуют единые подходы к методике по продлению нормативного (установленного) срока эксплуатации ГТС, как в нормативной, так и правовой документации. В этой связи наиболее актуальным является вопрос продления срока эксплуатации гидросооружения на завершающем этапе жизненного цикла.

Настоящая диссертация посвящена разработке мер повышения эксплуатационной надёжности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов в части разработки методики продления установленного (нормативного) срока эксплуатации таких сооружений.

Цели и задачи. Цели: разработать научно обоснованные решения, обеспечивающие повышение эксплуатационной надёжности ГТС в части продления установленного срока эксплуатации грунтовых сооружений III и IV классов, включая рекомендации по составу и методике проведения экспертизы таких сооружений.

Основными задачами исследования являются:

- 1) выполнить количественный и качественный анализ состояния гидроузлов, расположенных на территории России, и условий их эксплуатации;
- 2) разработать новые подходы к определению границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала гидротехнических сооружений III и IV классов, а также к расчёту температурных полей в грунтовых ГТС и их основаниях;
- 3) разработать методику продления установленного срока эксплуатации грунтовых гидросооружений III и IV классов, отработавших установленный срок эксплуатации;
- 4) апробировать предлагаемую методику на действующих гидроузлах с целью продления срока эксплуатации ГТС.

Научная новизна:

1. Произведена современная количественная и качественная оценка состояния ГТС на территории России, отработавших установленный (нормативный) срок эксплуатации.

2. Разработана методика проведения экспертизы безопасности грунтовых гидросооружений III и IV классов для целей продления срока эксплуатации.

3. Впервые разработаны уровни соответствия гидротехнических сооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, решению о дальнейшей эксплуатации таких сооружений.

Методика апробирована на действующих ГТС, отработавших более 60 лет в составе гидроузлов: грунтовая плотина головного гидроузла III класса на р. Терек, грунтовая плотина Краснополянской ГЭС, дамба подводящего канала гидроузла на р. Егорлык, сооружения Лужковского гидроузла.

Теоретическая и практическая значимость работы:

– предложенные методы продления установленного срока эксплуатации грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов позволяют повысить эксплуатационную надёжность сооружений, которые отработали установленный срок эксплуатации;

– основные положения разработанной методики использованы при выполнении научно-исследовательской работы ФБУ «НТЦ Энергобезопасность» по теме: «Разработка методологических основ многофакторных исследований технического состояния и безопасности высоконапорных гидротехнических сооружений» в части требований к многофакторным обследованиям ГТС и оборудованию гидроэлектростанций для оценки возможности продления проектного (нормативного) срока их эксплуатации;

– результаты работы использованы при решении вопросов определения остаточного ресурса ГТС за пределами установленного срока эксплуатации:

1) на грунтовой плотине головного гидроузла III класса, находящейся на р. Терек и отработавшей установленный срок эксплуатации (фактический срок эксплуатации – 62 года);

2) на грунтовой плотине III класса Краснополянской ГЭС (срок эксплуатации 62 года);

3) на дамбе подводящего канала гидроузла, расположенного на р. Егорлык (срок эксплуатации – 62 года).

Методология и методы исследования. В работе были использованы методы математического и численного моделирования; методики лабораторного определения физико-механических характеристик грунтов; статистические методы обработки информации.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты количественного и качественного анализа состояния гидроузлов, расположенных на территории России, и условий их эксплуатации;
- новые подходы к определению границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала гидротехнических сооружений III и IV классов, а также к расчёту температурных полей в грунтовых ГТС и их основаниях;
- методика продления установленного срока эксплуатации грунтовых гидросооружений III и IV классов, отработавших установленный срок эксплуатации;
- результаты апробации предложенной методики на действующих гидроузлах.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов заключается в расчете на прочность и устойчивость грунтовых сооружений при помощи расчетных сертифицированных программ; сопоставлении полученных результатов с проектными решениями и действовавшими на момент проведения исследований строительными нормами и правилами в области гидротехнического строительства.

Результаты диссертационного исследования докладывались на Международном учебном курсе по безопасности гидротехнических сооружений для руководителей высокого уровня из стран Центральной Азии, организованном Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) (Москва, 2010 г.); Международной конференции «Надзор за обеспечением промышленной безопасности», проводимой в рамках Соглашения между Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) и Управлением по техническому надзору Республики Польша (УТН) в части сотрудничества в области надзора за обеспечением промышленной безопасности (Москва, 2012 г.), а также на Международном научном форуме «Проблемы управления водными и земельными ресурсами» (Москва, 2015 г.) и на заседаниях кафедры «Гидротехнические сооружения» Московского государст-

венного университета природообустройства (2011-2013 гг.) и ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 2015 г.).

По теме диссертационной работы автором опубликованы пять печатных работ, четыре из них в научных периодических печатных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки Российской Федерации.

Структура и объём работы. Диссертационная работа включает в себя: введение, четыре главы, заключение и список литературы из 125 наименований; содержит 148 страниц основного текста, в том числе 29 рисунков и 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновываются актуальность работы, её научная новизна и практическая ценность, формулируются цель и задачи исследований, выносимые на защиту положения.

Первая глава диссертационной работы посвящена обоснованию необходимости разработки мер по повышению эксплуатационной надёжности в части продления установленного срока эксплуатации гидротехнических сооружений III и IV класса.

Автором анализируется современное состояние вопросов безопасности гидроузлов в Российской Федерации, приводится статистика гидротехнических сооружений, в том числе качественная характеристика состояния ГТС, уровень подготовки обслуживающего персонала, произошедшие с грунтовыми ГТС чрезвычайные ситуации на территории России, а также выявлены и проанализированы различные факторы, влияющие на безопасность таких ГТС.

Вопросами безопасности гидротехнических сооружений, их эксплуатационной надёжности, разработки состава и последовательности обследований и оценки уровня безопасности занимались такие учёные как Арефьев Н.В., Богословский П.А., Блинов И.Ф., Бронштейн В.И., Василевский А.Г., Векслер А.Б., Волков В.И., Волосухин В.А., Газиев Э.Г., Гордон Л.А., Добрынин С.Н., Дурчева В.Н., Епифанов А.П., Жарницкий В.Я., Золотов Л.А., Ивашинцов Д.А., Иващенко И.Н., Каганов Г.М., Кондратьев Л.И., Косиченко Ю.М., Малаханов В.В., Марчук А.Н., Мгалобелов Ю.Б., Моисеев С.Н., Носова О.Н., Орехов В.В., Радкевич Д.Б., Рассказов Л.Н., Розанов Н.Н., Рубин О.Д., Румянцев И.С., Савич А.И., Серков В.С.,

Стефанишин Д.В., Тихонова Т.С., Филиппова Е.А., Хейфиц В.З., Цыбин А.М., Шульман С.Г., Щербина В.И. и др.

В работе Векслера А.Б., Ивашинцова Д.А., Стефанишина Д.В. «Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений» отмечено, что соответствующее законодательство по промышленной безопасности в Западной Европе и США начало формироваться в 1970 - 80-е годы. Сначала практиковалось принятие таких норм в отдельных странах. В ФРГ, например, еще в 1980 г. был принят Закон «Об аварийных ситуациях». Одним из первых правовых документов общеевропейского значения в области промышленной безопасности, содержащим общие требования по проведению анализа безопасности и риска, может быть названа «Директива Севезо» (1982 г.).

В целях обеспечения безопасности ГТС 21 июля 1997 г. в России был принят Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений», который регулирует правовые, экономические и социальные основы обеспечения безопасной эксплуатации ГТС. Положения закона содержат основы безопасности гидроузлов, в том числе декларирование безопасности ГТС, требования к экспертизе деклараций безопасности, выдаче разрешений на эксплуатацию ГТС (вывод из эксплуатации), условия внесения информационных данных в Российский регистр ГТС, но не содержат требований и последовательность мероприятий по продлению срока эксплуатации гидросооружений. В этой связи, вопрос разработки методики по продлению установленного срока эксплуатации плотин (дамб) III и IV классов, уже отработавших установленный срок эксплуатации, является актуальным. Основы такой методики целесообразно включить в СП 58.13330.2012, а также в Технический регламент зданий и сооружений.

Учитывая важность ГТС для экономики страны, следует обратить особое внимание на безопасность таких сооружений, большинство из которых построены более 40-70 лет назад. Поэтому задача оценки эксплуатационной надежности гидросооружений весьма актуальна на сегодняшний день.

Согласно Годовому отчету о деятельности Ростехнадзора в 2014 году, общее количество поднадзорных ему комплексов ГТС промышленности, энергетики и водохозяйственного комплекса составляет 29 964, из них (рисунок 1):

- 844 комплекса ГТС жидких промышленных отходов, в том числе:
- 365 комплексов ГТС хвостохранилищ и шламохранилищ в горнодобывающей промышленности;
- 377 комплексов ГТС хранилищ отходов предприятий химической, нефте-

химической и нефтеперерабатывающей промышленности;

- 102 комплекса ГТС накопителей отходов металлургической промышленности;
- 568 комплексов топливно-энергетического комплекса;
- 28 552 ГТС водохозяйственного комплекса.

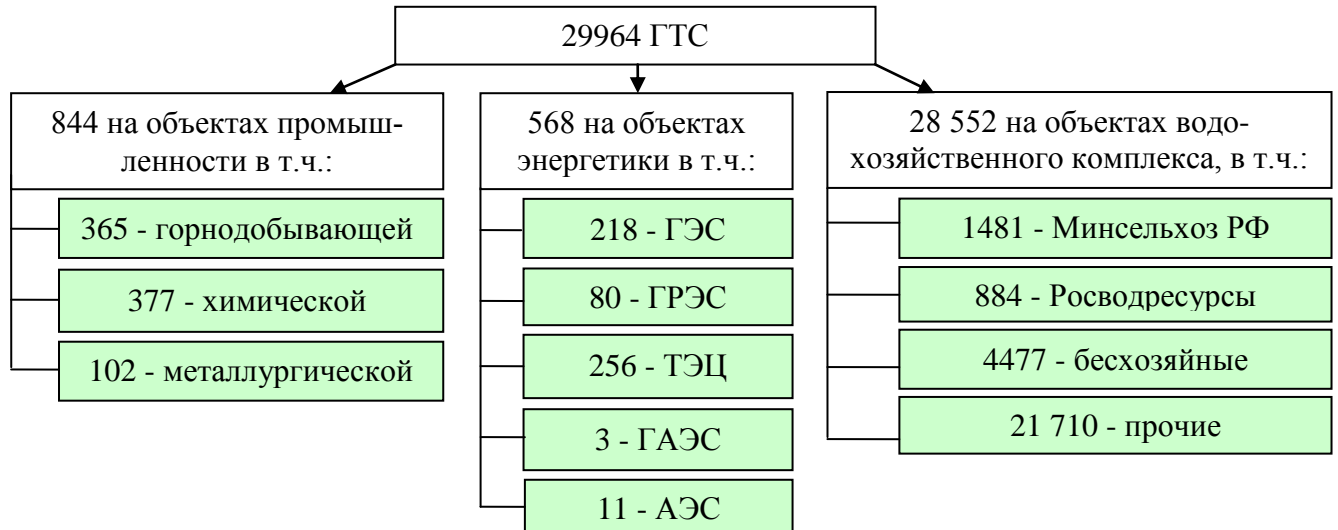


Рисунок 1 – Количественная характеристика гидросооружений на 2014 год

В соответствии с СП 58.13330.2012 ГТС классифицируются в зависимости от их высоты и типа грунтов основания по классам и распределены следующим образом (рисунок 2):

I класса - 116 комплексов; II класса - 332 комплекса; III класс - 669 комплексов; IV класса - 28 847 комплексов.

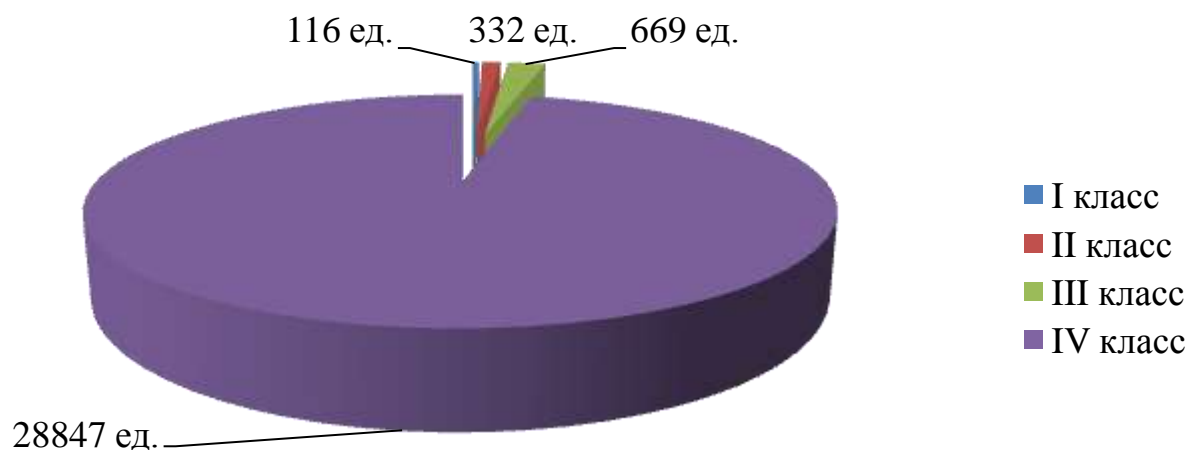


Рисунок 2 – Распределение гидротехнических сооружений по классам

По данным Российского регистра ГТС уровень безопасности ГТС оценивается следующим образом (рисунок 3):

- нормальный уровень безопасности, при котором ГТС не имеют дефектов и повреждений, дальнейшее развитие которых может привести к аварии, а эксплуатация ГТС осуществляется с выполнением норм и правил безопасности, имеют 39,4 % комплексов ГТС от общего количества;
- пониженный уровень безопасности, при котором сооружения находятся в нормальном техническом состоянии, но имеются нарушения правил эксплуатации, имеют 43,4 % комплексов ГТС;
- неудовлетворительный уровень безопасности, характеризуемый превышением первого (предупреждающего) уровня значений критериев безопасности и ограниченной работоспособностью сооружений, имеют 12,5% комплексов ГТС;
- опасный уровень безопасности, характеризуемый превышением предельно допустимых значений критериев безопасности, потерей работоспособности и не подлежащих эксплуатации, имеют 4,7 % гидроузлов.

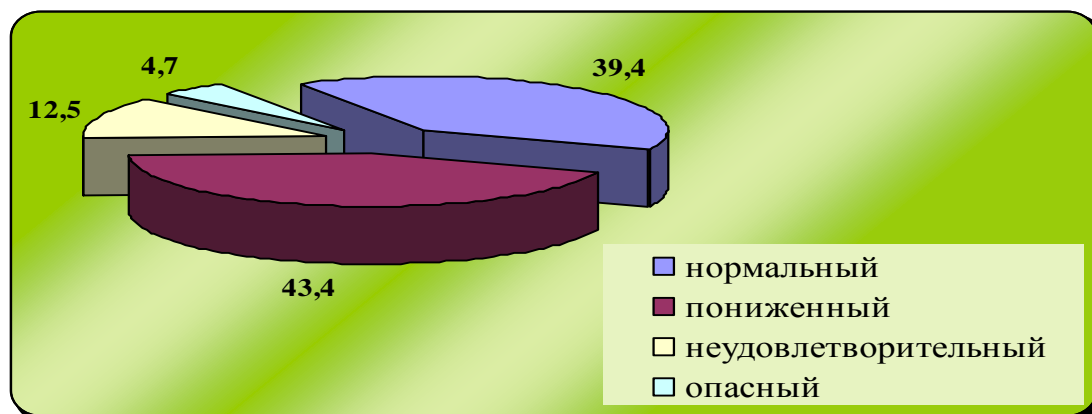


Рисунок 3 – Уровень безопасности ГТС (значения указаны в %)

По данным Ростехнадзора количество бесхозных ГТС уменьшилось с 5772 (на 1 января 2014 г.) до 4477 (на 31 декабря 2014 г.) сооружений, из них:

- 515 - с нормальным уровнем безопасности (было 994 в 2013 году);
- 3177 - с пониженным уровнем безопасности (было 3725);
- 588 - с неудовлетворительным уровнем безопасности (было 849);
- 197 - с опасным уровнем безопасности (было 204).

Класс подавляющего большинства бесхозных сооружений определен как IV (4454 гидротехнических сооружения, то есть 99,6% из общего количества), 22 гидротехнических сооружения - III класса, одно сооружение II класса.

Более 95% комплексов ГТС, не имеющих собственника, строились для мелиорации земель, рекреации, рыбного хозяйства, животноводства и иных хозяйственно-бытовых нужд.

Произведен анализ техногенных аварий, произошедших в период с 2012 по 2014 гг. на грунтовых ГТС III и IV класса.

В выводах по главе сформулированы предложения о необходимости разработки мер по повышению эксплуатационной надёжности ГТС в части продления установленного (нормативного) срока их эксплуатации.

Во второй главе рекомендованы новые подходы к определению границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала ГТС III и IV классов, а также к расчёту фильтрационных полей в грунтовых ГТС и их основаниях.

В трудах ВНИИГ имени Б. Е. Веденеева неоднократно поднимались вопросы старения материалов, оценки напряженно-деформированного состояния грунтовых плотин в процессе эксплуатации, прогнозирования изменения физических и механических свойств грунтов сооружений и оснований, что позволяет упростить задачу, связанную с продлением установленного срока эксплуатации грунтовых ГТС.

С целью продления установленного срока эксплуатации ГТС предлагается остановиться на определении границ диапазонов вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала, уложенного в тело сооружения, согласно рекомендациям ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева (формула (1)). При определении границы области вариации гранулометрических составов грунта, уложенного в тело сооружения, необходимо учитывать перемешивание и частичное усреднение состава грунта при его разработке, доставке к месту строительства и укладке в тело плотины.

Определение границы области вариации гранулометрических составов выполняется при помощи усредненного параметра $\sigma_{FH,c}(d_k)$ по формуле (1):

$$\sigma_{F.H,c} = \frac{\sigma_{F.H}}{\sqrt{n_c}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{FH,c}(d_k)$ - среднеквадратичное отклонение (СКО) функции распределения F_H ; n_c - количество перемещения грунта при разработке, доставке к месту строительства и укладке в тело плотины.

При разработке, доставке к месту строительства и укладке в тело плотины происходит отделение крупных и мелких фракций, которое учитывается с помощью усечения в отдельности среднего и граничных гранулометрических составов строительной грунтовой смеси.

При обследованиях грунтовых ГТС III и IV классов выявлено, что в боль-

шинстве случаев на таких сооружениях отсутствует проект производства работ. Формула (1) дополнена постоянным коэффициентом, который учитывает особенность строительства грунтовых гидросооружений III и IV классов:

$$\text{разработка} + \text{погрузка} + \text{доставка} + \text{укладка} = 4 \quad (2)$$

Принимая принятое упрощение, формула (1) будет иметь вид:

$$\sigma_{FH,c}(d_k) = \sigma_{FH} / 2 \quad (3)$$

Предложенное упрощение по определению границы области вариации granulometric compositions при решении задачи повышения эксплуатационной надежности в рамках продления срока эксплуатации грунтовых сооружений III и IV классов справедливо как в целом для таких сооружений, так и для отдельных их частей при проведении поэтапного освидетельствования сооружения.

По нормам, разработанным ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева («Методика обследования и анализа состояния грунтовых плотин и инженерно-геологических условий в их основаниях, а также программы исследований процессов старения материалов», далее - «Методика обследования и анализа ...»), расчет температурных полей в грунтовых гидротехнических сооружениях и их основаниях, в том числе с замораживанием-размораживанием, при учете фильтрации включает уравнение стационарной фильтрации:

$$\frac{d}{dx} \left(K_{\phi} \frac{dH}{dx} \right) + \frac{d}{dy} \left(K_{\phi} \frac{dH}{dy} \right) = 0, \quad (4)$$

где H - напор; K_{ϕ} - коэффициент фильтрации.

В задаче фильтрации ВНИИГом рекомендуется задаваться только граничными условиями, кроме того, на границах с водоемами должны выполняться условия первого рода $H = H_{зад}$ (5), а на водонепроницаемых границах учитываться выполнение условия второго рода:

$$dH/dn = 0, \quad (6)$$

где $H_{зад}$ - заданный напор; n - нормаль к границе.

Предлагаемая в «Методике обследования и анализа ...» схема моделирования расчета фильтрационных полей в грунтовых гидротехнических сооружениях и их основаниях является приближенной, так как в задаче фильтрации не учитывается заиление водохранилища. В этой связи, предложен принципиально новый подход к решению задачи фильтрационных полей в грунтовых ГТС, заключающийся в учете заиления водохранилища (при выполнении условия первого рода):

$$H = H_{зад} - H_{заиления}, \quad (7)$$

где $H_{заиления}$ - высота слоя заиления водохранилища.

Выполнена постановка задачи по разработке мер повышения эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов в части упрощения методов определения границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала ГТС, а также расчета фильтрационных полей в грунтовых ГТС и их основаниях.

В главе третьей диссертационной работы автором на основании данных Российского регистра ГТС произведена оценка количества гидросооружений на территории России, отработавших установленный (нормативный) срок эксплуатации. Из анализа следует, что количество отработавших свой нормативный (установленный) срок эксплуатации ГТС увеличивается каждый год на 10 - 20%. Учитывая интенсивное развитие гидротехнического строительства в 1960-е - 1970-е годы, следует отметить, что количество сооружений, отработавших нормативный срок эксплуатации, в ближайшем будущем будет увеличиваться стремительными темпами.

В ходе анализа количества ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, было выявлено, что из 3994 гидросооружений, поднадзорных Ростехнадзору, 596 комплексов ГТС эксплуатируются за рамками нормативного срока (рисунок 4). Учитывая важность безопасности ГТС, следует признать уровень безопасности этих выявленных комплексов гидросооружений как опасный, так как исследования их состояния (экспертиза) не производились, а их безопасность ничем не подтверждена.

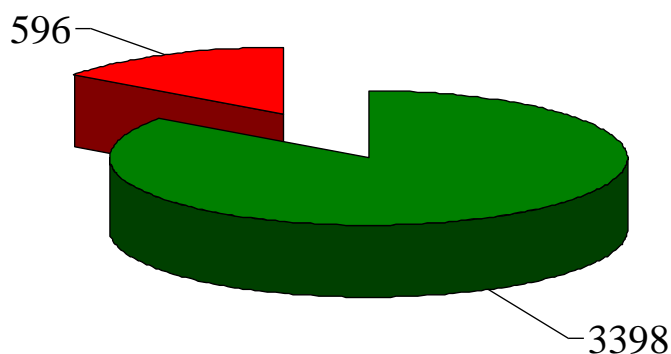


Рисунок 4 – Количественное соотношение ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации (596 ед.), и сооружений, установленный срок эксплуатации которых не закончился (3398 ед.)

Из выявленных 596 комплексов ГТС к II классу относятся 19 комплексов, к III классу – 109 комплексов, к IV классу – 468 комплексов (рисунок 5). Следует отметить, что с каждым годом общее количество гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, будет только увеличиваться, что может при-

вести как к локальным чрезвычайным ситуациям, так и к чрезвычайным ситуациям межрегионального характера.

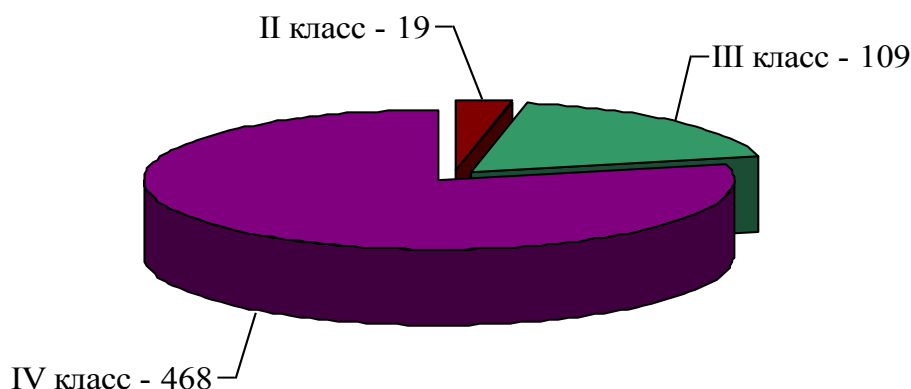


Рисунок 5 – Распределение по классам комплексов ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации

Качественный уровень безопасности 596 комплексов ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, по данным Регистра оценен (рисунок 6) как нормальный – для 269 гидроузлов (или 45% от общего количества); пониженный – для 183 гидроузлов (31%); неудовлетворительный – для 74 гидроузлов (12%) и опасный – для 21 гидроузла (4%). У 49 (8%) комплексов ГТС информация об уровне безопасности отсутствует.

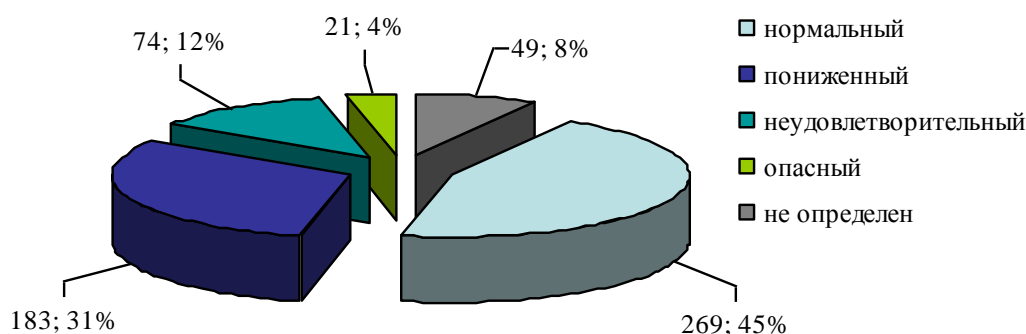


Рисунок 6 – Показатели качественного уровня безопасности ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации

С целью разработки предложений по продлению установленного срока эксплуатации сооружений автором создана методика проведения экспертизы безопасности грунтовых ГТС III и IV классов, которая базируется на предложенных автором уровнях соответствия ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, решению о дальнейшей эксплуатации таких сооружений в пределах остаточного ресурса эксплуатации. Уровни продления срока эксплуатации ГТС состоят из четырёх ступеней и являются индивидуальными как для III, так и для IV класса грунтовых гидросооружений. Для каждого из уровней в каждом классе со-

оружений автором разработаны характеристики, состоящие из расчётных значений остаточного ресурса ГТС в зависимости от его физического износа, а также остаточного ресурса ГТС по предельному состоянию статической устойчивости ГТС, допустимому обобщённому риску реализации предельных состояний по первой группе, и эмпирический метод оценки состояния гидросооружения.

Для эффективного решения вопросов разработки мер повышения эксплуатационной надёжности грунтовых ГТС III и IV классов вводится понятие «уровень продления срока эксплуатации ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации», которое обозначает соответствие ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации, решению о его дальнейшей пригодности к эксплуатации (выводе из эксплуатации), принятому экспертной организацией совместно с владельцем сооружения по итогам проведенных исследований.

Существуют четыре уровня продления срока эксплуатации ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации:

У1 - соответствие ГТС решению о дальнейшей эксплуатации на установленных параметрах;

У2 - соответствие ГТС решению о ремонте;

У3 - соответствие ГТС решению о реконструкции;

У4 - соответствие ГТС решению о выводе из эксплуатации (ликвидация).

Работы, связанные с определением остаточного срока эксплуатации (до прогнозируемого наступления предельного состояния) ГТС, его владелец должен выполнять не менее чем за два года до окончания установленного срока службы. В случае, если ГТС эксплуатируется без проведения экспертизы более нормативного срока, то остаточный ресурс такого ГТС необходимо устанавливать на момент проведения исследований. В зависимости от результатов экспертизы ГТС и остаточного ресурса определяется период, на который может быть продлен установленный срок эксплуатации ГТС.

Гидросооружение обследуют для установления его технического состояния, выявления степени фактического износа и работоспособности, а также факторов, оказывающих влияние на его безопасную эксплуатацию.

Исследуя грунтовое ГТС в целях определения его остаточного ресурса и возможности продления установленного срока эксплуатации, следует учитывать результаты систематических наблюдений за таким ГТС: соответствие фактических геологических, гидрологических и водохозяйственных параметров ГТС,

принятым в проекте; оценку запаса прочности и устойчивости ГТС в целом и отдельных его элементов с учетом фактического состояния.

Расчеты остаточного ресурса грунтового ГТС по критериям предельных состояний необходимо проводить двумя методами.

Первый метод. Определение остаточного ресурса ГТС в зависимости от его физического износа:

$$T_{\text{физ.износ}} = (\gamma_1 \varepsilon_1 + \gamma_2 \varepsilon_2 + \dots + \gamma_i \varepsilon_i) / (\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_i), \quad (8)$$

где $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_i$ - коэффициенты ответственности отдельных сооружений гидроузла; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_i$ - максимальные повреждения отдельных сооружений (конструкций).

Относительная оценка надежности ГТС определяется по формуле:

$$\gamma = 1 - \varepsilon \quad (9)$$

Постоянная износа λ учитывается по данным обследования:

$$\lambda = -\ln \gamma / t_{\phi}, \quad (10)$$

где t_{ϕ} - срок службы на момент проведения исследования, лет.

Срок службы ГТС определяется с начала эксплуатации до капитального ремонта и рассчитывается в годах согласно «Рекомендаций по оценке надежности строительных конструкций по внешним признакам» по зависимости:

$$T = 0,16 / \lambda \quad (11)$$

Учитывая, что срок эксплуатации грунтовых ГТС III и IV классов в соответствии с СП 58.13330-2012 равен 50 годам, то остаточный ресурс (до проведения капитального ремонта) составит:

$$T_{\text{ос}} = T - 50 \text{ лет} = 0,16 / \lambda - 50 \text{ лет} \quad (12)$$

Тогда срок эксплуатации ГТС до аварийного состояния определяется как:

$$T_{\text{ав}} = 0,22 / \lambda \quad (13)$$

Категории уровня безопасности ГТС разработаны на основе указанных выше рекомендаций и приведены в таблице 1. При предварительном определении остаточного ресурса данным методом следует использовать сведения из таблицы 1, а при более детальной оценке необходимо проводить расчеты по формуле (8). Для разносторонней оценки остаточного ресурса ГТС рекомендуется рассчитывать остаточный ресурс по его статической прочности (устойчивости).

Второй метод. Остаточный ресурс определяется по предельному состоянию ГТС или допускаемому коэффициенту устойчивости:

$$T_{\text{пред.сост.}} = \frac{K_{\text{зап}}(t) - [K]}{\omega_K}, \quad (14)$$

где $K_{\text{зап}}(t)$ - предельный коэффициент запаса устойчивости грунтового ГТС на момент проведения исследования; $[K]$ - предельный коэффициент устойчивости ГТС по расчету; ω_K - скорость снижения (повышения) механических свойств строительного материала.

Скорость снижения (повышения) механических свойств строительного материала вычисляется по формуле (15):

$$\omega_K = [K_{\text{зап}} - K_{\text{зап}}(t)]/t, \quad (15)$$

где $K_{\text{зап}}$ - нормативный коэффициент запаса устойчивости грунтового ГТС; t - время от начала эксплуатации ГТС до проведения исследования, лет.

Таблица 1

Категория уровня безопасности ГТС	Уровень безопасности ГТС	Относительная надежность $\gamma = g/g_0^*$	Поврежденность $\varepsilon = 1 - \gamma$
1	Нормальный уровень безопасности: ГТС соответствуют проекту, действующим нормам и правилам, значения критериев безопасности не превышают предельно допустимых для работоспособного состояния сооружений и оснований, эксплуатация осуществляется без нарушений действующих законодательных актов, норм и правил, предписания органов государственного надзора выполняются.	1	0
2	Пониженный уровень безопасности: невыполнение первоочередных мероприятий или неполное выполнение предписаний органов государственного надзора по обеспечению безопасности ГТС и другие нарушения правил эксплуатации при прочих условиях, приведенных в п. 1.	0,90	0,10
3	Неудовлетворительный уровень безопасности: снижение механической или фильтрационной прочности, превышение предельно допустимых значений критериев безопасности для работоспособного состояния, другие отклонения от проектного состояния, способные привести к развитию аварии.	0,75	0,25
4	Опасный уровень безопасности: наступает вследствие развивающихся процессов снижения прочности и устойчивости элементов ГТС и их оснований, превышения предельно допустимых значений критериев безопасности, характеризующих переход от частично неработоспособного к неработоспособному состоянию сооружений и оснований.	0,65	0,35
* под g понимается нормативный коэффициент запаса устойчивости; g_0 - фактический коэффициент запаса устойчивости сооружения с учетом имеющихся повреждений.			

После преобразования формул (14) и (15):

$$T_{\text{пред.сост.}} = \frac{t\{K_{\text{зап}}(t) - [K]\}}{K_{\text{зап}} - K_{\text{зап}}(t)} \quad (16)$$

По итогам определения остаточного ресурса ГТС по формулам (8) и (16) ресурс ГТС устанавливается по наименьшему значению результата расчета с указанием решения о дальнейшем этапе эксплуатации: продолжение эксплуатации на установленных параметрах (У1), ремонт (У2), реконструкция (У3), вывод из эксплуатации или ликвидация (У4).

Исследования вероятного риска предельных состояний 1-й группы имели своей целью: оценку соответствия условий эксплуатации гидроузла требованиям в области безопасности ГТС; детализацию сведений о вероятных опасностях и рисках при декларировании безопасности ГТС; доработку функциональных возможностей локальных систем оповещения и предупреждения об аварийных ситуациях на гидроузле; анализ эффективности системы управления безопасностью гидроузла с учетом результатов исследования.

Для определения средней интенсивности отказов грунтовых ГТС, отработавших установленный срок эксплуатации, на различных этапах жизненного цикла таких ГТС использовались результаты расчетов допустимого риска по предельным состояниям 1-й группы для грунтовых плотин, представленные в работах Арефьева Н.В. и др. В диссертации предложены интервалы допустимого риска предельных состояний 1-й группы (год^{-1}) для каждого из четырех уровней продления срока эксплуатации ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации (таблица 2).

Таблица 2 – Интервалы допустимого риска предельных состояний 1-й группы

Грунтовые гидротехнические сооружения					
Класс ГТС	Временной интервал	Период временной эксплуатации		Период постоянной эксплуатации	
		Верхняя граница риска, год^{-1}	Нижняя граница риска, год^{-1}	Верхняя граница риска, год^{-1}	Нижняя граница риска, год^{-1}
III	$t_{\text{приработки}}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	-	-
	$t_{\text{норм. экпл.}}$	-	-	$3 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
	t_1	-	-	$3,25 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
	t_2	-	-	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$3,25 \cdot 10^{-3}$
	t_3	-	-	$3,75 \cdot 10^{-3}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
	t_4	-	-	$4 \cdot 10^{-3}$	$3,75 \cdot 10^{-3}$
IV	$t_{\text{приработки}}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	-	-
	$t_{\text{норм. экпл.}}$	-	-	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
	t_1	-	-	$5,25 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
	t_2	-	-	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$5,25 \cdot 10^{-3}$
	t_3	-	-	$5,75 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$
	t_4	-	-	$6 \cdot 10^{-3}$	$5,75 \cdot 10^{-3}$

Примечание: $t_{\text{приработки}}$ и $t_{\text{норм.экс}}$ - интервалы соответственно приработки и нормальной эксплуатации; интервалы t_1-t_4 соответствуют уровням продления срока эксплуатации ГТС У1-У4.

Для количественной оценки риска основного сценария развития аварий на ГТС целесообразно использовать рекомендованный СТО 70238424.27.140.026-2009 метод анализа дерева отказов, а экспертизу ГТС проводить по блок-схеме (рисунок 7) с целью установления его технического состояния и выявления меры реальной амортизации, в том числе определения причин, послуживших к снижению безопасности.

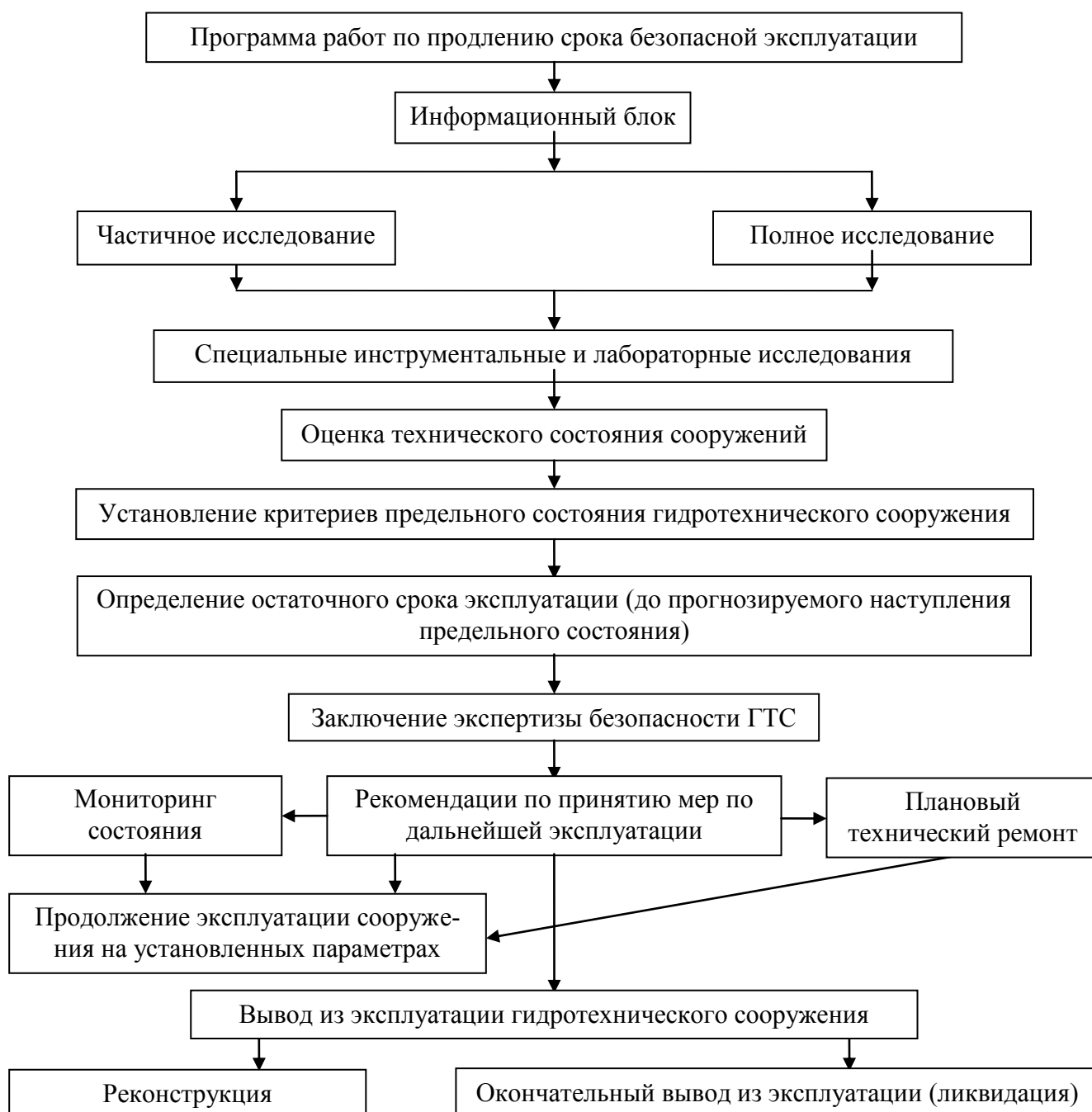


Рисунок 7 – Блок-схема проведения исследования ГТС

В таблица 3 приведены разработанные в диссертации характеристики уровней продления срока эксплуатации ГТС, отработавшего установленный срок эксплуатации.

Четвертая глава содержит новые подходы к повышению эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов в части продления установленного срока их эксплуатации. Анализ фактического состояния ГТС представлен на примере отработавших установленный срок эксплуатации сооружений III класса, фактический срок эксплуатации которых составляет 62 года (грунтовая плотина головного гидроузла на р. Терек; грунтовая плотина Краснополянской ГЭС на р. Мзымта; дамба подводящего канала гидроузла на р. Егорлык; грунтовая плотина Лужковского гидроузла), а заключение по ним сделано в соответствии с разработанной автором методикой проведения экспертизы безопасности грунтовых ГТС III и IV классов. При этом были решены следующие задачи:

- выполнены сбор, анализ и обобщение информации о надежности исследуемого гидросооружения;
- определен состав специальных инструментальных и лабораторных исследований с учетом фактического состояния сооружений и проведенных до этого обследований (исследований);
- выполнена оценка технического состояния ГТС с применением новых подходов эмпирического метода (изложены в тексте диссертации);
- выполнен анализ натуральных наблюдений за грунтовыми ГТС;
- установлены критерии предельного состояния по результатам анализа натуральных наблюдений за ГТС;
- выполнено сравнение результатов, полученных при оценке технического состояния гидросооружений, с критериями безопасности, проектом, действующими техническими нормами в области безопасности ГТС;
- определен остаточный срок эксплуатации гидросооружений;
- разработана программа корректирующих процедур по обеспечению безопасности гидросооружений на продлеваемый срок.

Анализ технического состояния сооружений выполнен в сопоставлении с данными натуральных наблюдений, в части деформаций сооружений; уровней пьезометров; предельных коэффициентов запаса устойчивости откосов; допустимым обобщенным риском реализации предельных состояний 1-й группы.

Выводы по главе содержат, в том числе, рекомендации о возможном сроке продления эксплуатации указанных выше гидросооружений III класса.

Таблица 3 – Характеристики уровней продления срока эксплуатации ГТС

Уровень продления срока эксплуатации ГТС (срок продления, лет)	$T_{\text{физ.износ}}$	Предельный коэффициент запаса устойчивости	Допустимый обобщённый риск реализации предельных состояний 1-й группы, год ⁻¹	Эмпирический метод оценки (табл. 3.4. диссертационной работы автора)
1	2	3	4	5
III класс гидротехнических сооружений				
У1 (25)	$T_{\text{физ.износ}} = 0$	$1,175 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,20$	$3 \times 10^{-3} \leq t_1 < 3,25 \times 10^{-3}$	п.п. 1.1; 1.2
У2 (15 с учетом ремонта)	$0 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,10$	$1,15 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,175$	$3,25 \times 10^{-3} \leq t_2 < 3,5 \times 10^{-3}$	п.п. 2.1; 2.2; 2.3; 2.4
У3 (в рамках реконструкции, но не более 3)	$0,10 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,25$	$1,125 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,15$	$3,5 \times 10^{-3} \leq t_3 < 3,75 \times 10^{-3}$	п.п. 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8
У4 (0)	$0,25 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,35$	$1,10 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,125$	$3,75 \times 10^{-3} \leq t_4 < 4 \times 10^{-3}$	п.п. 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5
IV класс гидротехнических сооружений				
У1 (25)	$T_{\text{физ.износ}} = 0$	$1,1375 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,15$	$5 \times 10^{-3} \leq t_1 < 5,25 \times 10^{-3}$	п.п. 1.1; 1.2
У2 (15 с учетом ремонта)	$0 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,10$	$1,125 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,1375$	$5,25 \times 10^{-3} \leq t_2 < 5,5 \times 10^{-3}$	п.п. 2.1; 2.2; 2.3; 2.4
У3 (в рамках реконструкции, но не более 3)	$0,10 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,25$	$1,1125 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,125$	$5,5 \times 10^{-3} \leq t_3 < 5,75 \times 10^{-3}$	п.п. 3.1; 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8
У4 (0)	$0,25 < T_{\text{физ.износ}} \leq 0,35$	$1,10 < K_{\text{зап}}(t) \leq 1,1125$	$5,75 \times 10^{-3} \leq t_4 < 6 \times 10^{-3}$	п.п. 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5

Примечание: эмпирический метод оценки не приводится в автореферате по причине его большого объёма.

Разработанная методика позволяет повысить эксплуатационную надежность грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов, а также восполнить нормативный пробел в обеспечении безопасности ГТС в части продления установленного срока эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны меры повышения эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов, направленные на развитие теоретических и прикладных методов продления срока эксплуатации указанных сооружений.

Решены задачи, связанные с повышением безопасности грунтовых гидросооружений III и IV классов, что в целом обеспечит более высокий уровень национальной безопасности Российской Федерации.

Областью исследования явились грунтовые ГТС, отработавшие установленный срок эксплуатации, на примере которых с использованием авторского метода определения остаточного срока эксплуатации, выполнены комплексные исследования безопасности таких сооружений.

Исследования были направлены, в том числе, на определение коэффициента физического износа, расчет коэффициента запаса устойчивости грунтового сооружения, анализ допустимого обобщенного риска реализации предельных состояний 1-й группы, а также применение эмпирического метода и обоснование безопасности грунтовых гидротехнических сооружений в целом.

Основные результаты диссертационной работы сводятся к нижеследующему:

1. Выполнен количественный и качественный анализ состояния гидроузлов, расположенных на территории России, и условий их эксплуатации; оценен уровень подготовки обслуживающего персонала, а также проанализированы чрезвычайные ситуации на отечественных гидросооружениях, произошедшие в период с 2012 по 2014 гг.

Из общего числа 29 964 комплексов гидросооружений к сооружениям III и IV класса относятся 29 516 комплексов, т.е. 98,5%, а срок эксплуатации таких сооружений колеблется от 40 до 70 лет. Поэтому оценка эксплуатационной надежности таких сооружений и, в том числе, продление установленного срока их эксплуатации является актуальной и своевременной задачей.

2. Разработаны новые подходы:

- 2.1 К определению границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала гидротехнических сооружений III и IV классов, основанные на введении постоянного коэффициента, учитывающего особенность строительства грунтовых гидросооружений III и IV классов;

- 2.2 К расчёту температурных полей в грунтовых ГТС и их основаниях с учетом фильтрации и процессов заиления водохранилища.

3. Предложена методика продления установленного срока эксплуатации грунтовых гидросооружений III и IV классов, отработавших установленный срок эксплуатации, основанная на определении расчетным способом физического износа; а также расчётных значений остаточного ресурса ГТС по предельному состоянию статической устойчивости, допустимому обобщённому риску реализации предельных состояний по первой группе; эмпирическом методе оценки состояния гидросооружения.

С использованием официальных данных Российского регистра гидротехнических сооружений произведен анализ количества гидроузлов, отработавших установленный срок эксплуатации. В результате получено точное количество гидросооружений II, III и IV классов, которые эксплуатируются за пределами установленного срока.

На основе расчетных характеристик, обеспечивающих надежность и безопасность ГТС, разработаны уровни соответствия гидросооружений, отработавших установленный срок эксплуатации, решению о дальнейшей их эксплуатации в пределах остаточного срока. Данные уровни соответствия легли в основу предложенной автором методики, позволяющей выполнить количественный и качественный анализ состояния грунтового гидросооружения и сделать заключение о его дальнейшем сроке эксплуатации.

4. Разработанная автором методика использована для повышения эксплуатационной надежности действующих гидроузлов, отработавших более 62 лет: грунтовой плотины головного гидроузла III класса на р. Терек; грунтовой насыпной плотины головного узла на р. Мзымта; дамбы подводящего канала гидроузла на р. Егорлык; Лужковского гидроузла. В частности:

- грунтовая плотина головного гидроузла на р. Терек соответствует уровню **У3**, т.е. принятию решения о реконструкции ГТС;
- грунтовая насыпная плотина головного узла на р. Мзымта в двух случаях соответствует уровню **У1**, а в остальных двух уровням **У2** и **У3** соответственно (принято решение о продолжении эксплуатации ГТС на установленных параметрах (**У1**));
- дамба подводящего канала гидроузла на р. Егорлык в двух случаях соответствует уровню **У1**, в остальных двух - **У2**;
- уровень продления срока эксплуатации ГТС на Лужковском гидроузле соответствует **У1**.

Развитие и совершенствование методологии повышения эксплуатационной надежности *бетонных* гидросооружений III и IV классов является задачей дальнейших исследований.

**Список работ, опубликованных автором по теме
диссертации**

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Матвеенков, Ф.В. Предложения по разработке указаний о продлении нормативного срока службы гидротехнических сооружений / Ф.В. Матвеенков // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – 2012. – Т. 266. – С. 83-88.

2. Матвеенков, Ф.В. Определение границ вариации прочностных и деформационных характеристик грунтового материала гидросооружения / Ф.В. Матвеенков // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – № 10. – С. 53-55.

3. Матвеенков, Ф.В. Общие положения по продлению срока эксплуатации гидротехнического сооружения / Ф.В. Матвеенков // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 10. – С. 26-29.

4. Матвеенков, Ф.В. Вопросы повышения эксплуатационной надежности грунтовых гидротехнических сооружений III и IV классов, отработавших установленный срок эксплуатации / Ф.В. Матвеенков // Природообустройство. – 2015. – № 4. – С. 44-47.

Статьи в других изданиях:

1. Матвеенков, Ф.В. О необходимости методики (правил) организации работ по продлению установленного нормативного срока службы гидротехнических сооружений / Ф.В. Матвеенков // Гидротехника XXI век. – 2012. – № 4(11). – С. 62-63.