

На правах рукописи

Кроличенко Витольд Владимирович

Методика оценки риска последствий аварий на гидротехнических сооружениях напорного типа с применением аэрогеодезических технологий идентификации их устойчивости в экстремальных ситуациях.

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

2010

Работа выполнена в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) на кафедре прикладной экологии

Научный руководитель: кандидат военных наук, профессор,
член-корр. РАЕН
Буров Владимир Николаевич

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук,
профессор Зверев А.Т. (МИИГАиК)

кандидат технических наук
Кисуркин А.Ф. НИЦ «Геодинамика-М»

Ведущая организация: Академия гражданской защиты
МЧС России

Защита состоится 2010 г. в ч. мин.
на заседании диссертационного совета Д 212.143.02 в Московском
государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064,
Москва, Гороховский пер., дом 4, зал заседания Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского
государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан « » 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета С.А.Сладкопевцев

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Гидротехнические сооружения (ГТС) различного класса и назначения остаются важными объектами народно-хозяйственного комплекса в атомной, в энергетической и в металлургической промышленности, в сельском хозяйстве, в системе водного транспорта, рыбного хозяйства, водоснабжения и канализации, гидромелиорации и других отраслях экономики. Все гидросооружения, в той или иной степени, удерживают в своей системе огромные объемы кинетической энергии водных масс. Так, например, Братское водохранилище на р. Ангаре удерживает 169,3 км³ воды, Красноярское на р. Енисей – 73,3 км³, а подмосковное Истринское водохранилище – 0,3 км³. Эти водные массы способны в экстремальных ситуациях (авариях) обрушивать их разрушительное действие на огромные территории. Такие ситуации усугубляются и теми обстоятельствами, что большинство гидротехнических сооружений возводилось и возводится в густонаселенных районах, промышленных зонах и в районах с развитой системой инфраструктуры. Да и весь гидротехнический комплекс есть составная часть инфраструктуры территории, от состояния которой зависят многие элементы жизнедеятельности населения, состояния и режим функционирования объектов экономики.

Всегда аварии на ГТС сопровождались масштабными последствиями: гибелью людей, разрушением жилищ, разрушением объектов экономики, ухудшением и деградацией окружающей среды и пр. С учетом данных мировой статистики, в среднем за последние 100 лет, начиная с 1900 года, ежегодный риск разрушений и повреждений бетонных плотин, составляет соответственно $0,34 \cdot 10^{-4}$ и $0,45 \cdot 10^{-3}$, при этом ежегодный глобальный риск человеческих жертв аварий всех типов плотин составляет $5,1 \cdot 10^{-8}$. Человеческие жертвы и материальные убытки при авариях современных плотин сопоставимы с последствиями природных катастроф.

Примером тому является положение дел с аварийностью в системе ГТС усугубляется и тем обстоятельством, что возрастающие изменения климата в результате повышения глобальной средней годовой температуры увеличивают

частоту и масштабы аномальных природных явлений. Так последствия аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году, унесли жизни 75 человек и нанесли ущерб государству в 21 млрд рублей. Существующая тенденция роста аварий на ГЭС может быть объяснена и тем обстоятельством, что устойчивость возводимых сооружений проектировалась на возможные экстремальные ситуации природного и техногенного происхождения тех лет (30-тые и 50-тые годы прошлого столетия). Кроме того, в силу ряда обстоятельств экономического положения страны в последние 10 - 20 лет, сократились профилактические работы по сохранению устойчивости ГЭС. Все это превращает сложившуюся ситуацию устойчивости ГЭС в новых условиях состояния окружающей среды и «техногенного климата» в проблему рискованных оценок аварий на ГЭС. Для решения этой задачи необходимо применение аэрогеодезических технологий идентификации их устойчивости в экстремальных ситуациях, позволяющих на стадии раннего развития опасных ситуаций принимать управленческие решения по сохранению устойчивости сооружений и минимизации возможных последствий аварий.

Поэтому тема диссертационной работы, рассматривающей оценку риска последствий аварий на ГЭС напорного типа с применением аэрогеодезических технологий идентификации их устойчивости в экстремальных ситуациях состояния геоэкологии территории, представляется актуальной и своевременной, позволяющей решать современные задачи безопасности населения и окружающей среды в условиях изменяющейся геоэкологии территории.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка технологий раннего обнаружения рискованных ситуаций возможных аварий ГЭС в зоне проявления аномальных явлений в геоэкологии природного и техногенного происхождения и оценка риска их возможных последствий.

Реализация поставленной цели достигается выполнением следующего комплекса задач:

1. Исследование особенностей назначения и конструкции гидросооружений различного типа и класса, их применимость и распространение;

2. Статистический анализ аварийности на гидросооружениях напорного типа;
3. Установление причин чрезмерной проницаемости грунтов в основании плотины;
4. Определение влияния деформационной неоднородности грунтов в основании плотины на ее устойчивость;
5. Исследование возможного сценария аварий на ГТС напорного типа, его развития и последствия.
6. Обобщение современных методов оценок риска аварий на различных объектах технических систем на основе применения теории вероятности и статистики, а также теории устойчивости и надежности применительно к объектам ГТС;
7. Рассмотрение модельных технологий оценки технического состояния ГТС и их применимость для оценки устойчивости этих сооружений;
8. Разработка методики оценки риска последствий аварий на ГТС напорного типа;
9. Анализ дистанционных методов идентификации рискованных ситуаций в зоне функционирования ГТС;
10. Установление наиболее эффективных методов дистанционного зондирования рискованных ситуаций в зоне функционирования ГТС и их применимость для решения задач идентификации в различных условиях окружающей среды;
11. Анализ современных методов геодезического контроля и наблюдений за деформациями на ГТС;
12. Проведение апробации методики оценки риска последствий возможной аварии на ГТС Истринского водохранилища по материалам расчетно-аналитического эксперимента с использованием результатов дешифрирования космических снимков.

Таким образом, в диссертации рассматривается решение важной научно – прикладной проблемы геоэкологии-безопасности населения и защиты окружающей среды в условиях нарастания рискованных ситуаций в зоне

функционирования ГТС.

Методы исследования. В целях достижения высокого уровня научности и достоверности полученных результатов в работе применялись такие методы исследований, как: обобщение и анализ материалов литературных источников, статистических данных и результатов опытных испытаний по широкому кругу вопросов тематики диссертации; графоаналитическое моделирование процессов возникновения аварийных ситуаций и их развития в различных условиях изменяющейся среды; опытные испытания применимости предлагаемых методик и проверка их корректности по полученным результатам; аналитическое обоснование выбора путей рационального решения исследуемых задач.

Базовые материалы исследования. В основу базовых материалов исследований по теме диссертации положены результаты научных работ по основным и прикладным аспектам рассматриваемой проблемы, нашедших отражение в научных трудах экологов С.Л.Авалиани, В.И.Вернадский, В.Н.Крутько, Н.Н.Моисеев, Н.Ф.Реймерс, А.В.Садов и др., гидрогеологов А.З.Зайцев, П.П.Клименко, В.А.Мироненко, [Н.И.Плотников] и др., геодезистов Б.Н.Жуков, А.П.Карпик, Е.И.Паншин, А.Г.Малков, специалистов дистанционного зондирования У.Рис, С.В.Гарбук, В.Е.Горшензон. В работе также использовались материалы научных конференций по проблемам охраны окружающей среды, защиты населения и сохранения устойчивости объектов экономики в условиях развивающихся аномальных явлений погоды и климата.

Научная новизна. Научная новизна, проведенных исследований, заключается в комплексном решении проблемы оценки риска аварий на ГТС напорного типа с применением современных методов дистанционного зондирования и геодезического контроля для идентификации рискованных ситуаций под воздействием аномальных природных явлений в геоэкологии территории. Впервые решена задача установления устойчивости ГТС и его контроля в экстремальных ситуациях путем комплексирования технологий дистанционного зондирования и геодезического контроля, что позволяет на ранней стадии развития рискованных ситуаций принимать своевременные

управленческие решения по предотвращению аварий, защиты населения и окружающей среды.

Практическое значение. Выдвигаемые автором технологии могут быть использованы для совершенствования системы мониторинга за состоянием ГТС в условиях развития природных аномалий и определения комплекса управленческих решений по повышению устойчивости гидротехнических объектов, защиты населения и окружающей среды. Кроме того, предлагаемые в работе методы и методики, могут быть использованы в исследовательских и практических работах по оценке риска аварий на ГТС, а также в учебном процессе при подготовке специалистов по геодезии, дистанционному зондированию и безопасности жизнедеятельности.

Личный вклад автора. За период работы по теме диссертации (с 2002 по 2008 г.) автор принял непосредственное участие:

- в обсуждениях инновационных направлений в области геодезического контроля и идентификации показателей состояния инженерных сооружений и окружающей среды на научных конференциях [6,7];

- в разработке методики оценки риска последствий аварии на ГТС и внедрении ее технологий в методические материалы при обучении студентов по БЖД[8];

- в практическом использовании методов геодезического контроля для оценки устойчивости инженерных сооружений и конструкций при возведении объектов Метростроя.

Апробация работы. Основные результаты работы по теме диссертации опубликованы в 8 научных и методических изданиях, 4 из которых в соавторстве, а также ряд научных инновационных направлений апробированы на научных конференциях. Результаты диссертационной работы обсуждены на расширенном заседании кафедры Прикладной экологии МГУГиК и рекомендованы к защите на Ученом совете МГУГиК по специальности «Геоэкология».

Структура и объем работы. Диссертация, объемом 150 страниц, состоит из введения, четырех глав и заключения, с иллюстрациями в виде рисунков -

16 ед., графиков - 4 ед., таблиц - 14 ед., снимков - 13 ед.

Основные положения, выносимые на защиту: 1. Результаты комплексного анализа причин и последствий аварий на ГТС напорного типа; 2. Методика оценки риска последствий аварий на ГТС; 3. Результаты эксперимента по оценке последствий возможной аварии на ГТС Истринского водохранилища.

Содержание работы

1. Аварии на гидросооружениях напорного типа

Гидродинамический объект - искусственное гидротехническое сооружение или естественное природное образование, способное при разрушении напорных преград создавать волну прорыва в направлении нижнего бьефа. Волна прорыва и разливающиеся массы воды способны на своем пути движения вызывать человеческие жертвы, разрушать строения и объекты народного хозяйства, наносить материальный ущерб населению и государству и потому является основным фактором в оценке риска аварий на ГТС. Гидродинамические объекты включают: ГТС напорного типа и естественные гидродинамические объекты (рис 1.1).

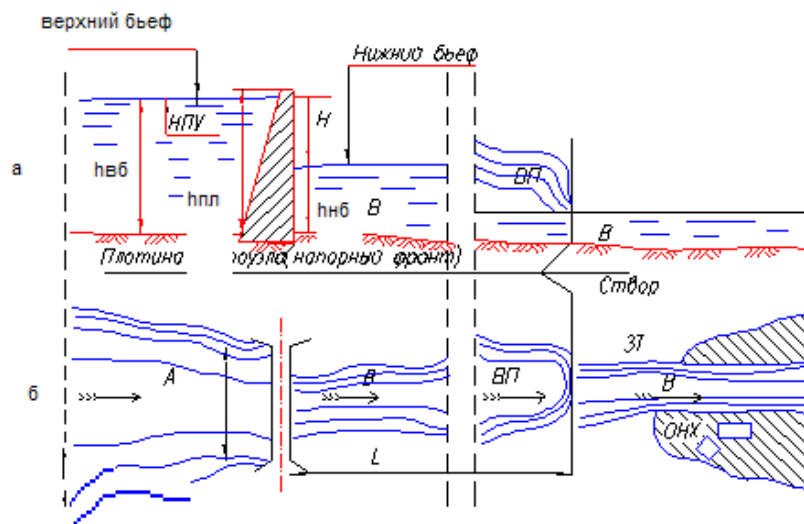


Рис. 1.1. Схема плотины гидротехнического сооружения в системе гидроузла, разрез (а), план (б)

где: НПУ - нормальный подпорный уровень; $h_{вб}$ - глубина водоема перед плотиной в верхнем бьефе; $h_{пл}$ - высота плотины; $h_{нб}$ - глубина водоема (реки) за плотиной в нижнем бьефе; N - напор гидроузла ($N=h_{вб}-h_{нб}$); l - ширина водохранилища в створе гидроузла; A - водохранилище; B - река; $ОНХ$ - объект народного хозяйства; $ЗТ$ - возможная зона затопления; L - расстояние от плотины до створа; $ВП$ - волна прорыва.

Все ГТС являются потенциально опасными источниками поражения (воздействия) на население, объекты экономики и окружающую среду в

результате аварийного сброса огромных водных масс.

ГТС в зависимости от степени опасности разрушений и масштабов их последствий подразделяются на 4 класса.

Класс ГТС может определяться: по показателю технического назначения сооружения, по показателю динамических возможностей сооружения и по показателю масштабов народно-хозяйственного назначения (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Класс основных гидродинамических сооружений напорного типа в зависимости от технического назначения сооружения (по данным справочника ЧСПЭП, 1990)

| Объект защиты | Высота сооружения, (м) при их классе | | | | |
|--|--------------------------------------|-----------|--------------|-------------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Подпорные стены | А | Более 40 | от 25 до 40 | от 15 до 25 | менее 15 |
| | Б | Более 30 | от 20 до 30 | от 12 до 20 | менее 12 |
| | В | Более 25 | от 18 до 25 | от 10 до 18 | менее 10 |
| Оградительные сооружения (молы, волноломы и дамбы) | А, Б, В | Более 25 | от 25 | менее 5 | - |
| Плотины на грунтовых основаниях | А | Более 100 | от 75 до 100 | от 25 до 75 | менее 25 |
| | Б | Более 75 | от 35 до 100 | от 15 до 35 | менее 15 |
| | В | Более 50 | от 25 до 50 | от 15 до 35 | менее 15 |
| Плотины бетонные и железобетонные, подводные конструкции здания гидроэлектростанций. Шлюзы | А | Более 100 | от 60 до 100 | от 25 до 65 | менее 25 |
| | Б | Более 50 | от 25 до 50 | от 10 до 25 | менее 10 |
| | В | Более 25 | от 20 до 25 | от 10 до 20 | менее 10 |

В экстремальных условиях гидрологического режима (скоротечный паводок, аварийный сброс вод выше расположенного по течению реки ГТС и др.) возможны ситуации, когда гидродинамическое воздействие вод превысит расчетные показатели устойчивости и прочности ГТС. Такие отклонения от проектных величин должны быть не более: для сооружений 1 класса - 1% (1 раз в 100 лет), 2 и 3 классов - 5% (1 раз в 20 лет), 4 класса - 10% (1 раз в 10 лет). Превышение ветровых волн и ветрового нагона над расчетными для сооружений 1 и 2 классов - 2% и 3,4 класса - 4%.

Установлено, что основными причинами разрушения ГТС являются: горизонтальные подвижки и вертикальные смещения под основанием ГТС. Вовремя не замеченные, они начинают проявляться в снижении устойчивости конструкции, что может привести к аварии или полному разрушению. Из статистического анализа отказов ГТС, произошедших в двадцатом веке на примере 240 аварий, приведенных в таблице 1.2, видно, что большинство

отказов плотин произошло в результате паводковых воздействий и чрезмерной проницаемости грунтовых оснований, а также недостаточной прочности сооружения.

Таблица 1.2

Таблица статистического анализа отказов на гидротехнических сооружениях напорного типа на территории бывшего СССР за период 1990 - 2000 гг.

| Причинные свойства грунтовых оснований | Причины аварий | | | | |
|--|------------------------------|---------|-------|--------|-------|
| | Штатные условия эксплуатации | Паводки | Сейсм | Другие | Всего |
| Чрезмерная проницаемость | 110 | 6 | 2 | 2 | 120 |
| Деформационная неоднородность | 42 | 2 | 3 | 2 | 49 |
| Недостаточная прочность на сдвиг | 24 | 3 | 4 | 5 | 36 |
| Размываемость | 7 | 23 | - | 1 | 31 |
| Другие | 3 | - | 1 | - | 4 |
| Всего | 186 | 34 | 10 | 10 | 240 |

По данным статистического учёта установлено, что чрезмерные фильтрационные расходы, связанные с трещинами плотин в зоне основания, являются причинами 50% всех отказов, в том числе 28% из них сопровождались разрушением плотин

По статистике отказов влияние сейсмических явлений на ГТС занимает 17-е место в зависимости от устройства плотины. Наиболее надёжными являются контрфорсные плотины. В таблице 1.3 показаны весовые критерии отказов ГТС от факторов влияния.

Таблица 1.3

Факторы влияния на отказы работы ГТС

| Факторы влияния | Вес ф-ра | Время и количество отказов | | |
|------------------------------|----------|----------------------------|------|------|
| | | 0 | 4 | 10 |
| Неустойчивость основания | 20 | 30 | 30 | ---- |
| Температура и усадки | 12 | 30 | ---- | ---- |
| Фильтрация в теле плотины | 15 | 30 | ---- | ---- |
| Фильтрация в основании | 14 | 30 | ---- | ---- |
| Агрессивность воды | 12 | ---- | ---- | 6 |
| Повременное замораживание | 15 | ---- | ---- | ---- |
| Неправильная эксплуатация | 1 | 4 | ---- | ---- |
| Землетрясения | 3 | 9 | ---- | ---- |
| Разные не выявленные факторы | 8 | 4 | ---- | ---- |

Материалы статистики эксплуатации гидротехнических сооружений показывают, что с годами начинают появляться естественные динамические процессы в опорных грунтах, приводящие к изменениям деформационной

прочности оснований и разрушению плотины. Для повышения эффективности своевременных мер по снижению данного негативного фактора целесообразно применять методы раннего обнаружения процессов сдвига.

Исходя из вышеизложенного, можно определить содержание задач наблюдения за состоянием оснований гидросооружений, это: 1. Установление наличия или отсутствия смещений и определение границ активных зон; 2. Определение наличия и скорости развития смещений по горизонтали и вертикали, а также оценка подвижности различных горизонтов и векторов смещения; 3. Выявление количественных параметров и направлений смещений; 4. Разработка противодеформационных мероприятий и оценка их эффективности.

Последствия прорыва гидродинамического объекта связаны с распространением с большой скоростью воды, создающей угрозу возникновения чрезвычайной техногенной ситуации. Поражающий фактор - волна прорыва, возникающая при разрушении гидротехнического сооружения. Параметры поражающего воздействия волны прорыва: скорость волны прорыва, глубина волны прорыва, температура воды, время существования волны прорыва. Минимальные значения параметров поражающего воздействия волны прорыва (ГОСТ 22.9-03-95), которые сохраняют поражающий эффект: - статическое давление потока воды не менее $0,2 \text{ кг/см}^2$ (20 кПа) с продолжительностью действия не менее 0,25 ч и скоростью потока не менее 2 м/с. На параметры волны прорыва влияют как начальные размеры прорыва (ширина и глубина), так и интенсивность его размыва, зависящая от плотности сцепления с грунтом и других качеств материала плотины. Характер воздействия поражающего фактора определяется гидродинамическим давлением потока воды, уровнем и временем затопления, деформацией речного русла, загрязнением гидросферы, почв, грунтов, размыванием и переносом грунтов. Объектами поражающего воздействия волны прорыва могут быть: население, городские и сельские строения, сельскохозяйственные и промышленные объекты, элементы инфраструктуры, домашние и дикие животные, окружающая природная среда. Показатели волны прорыва представлены на схеме (рис. 1.2).

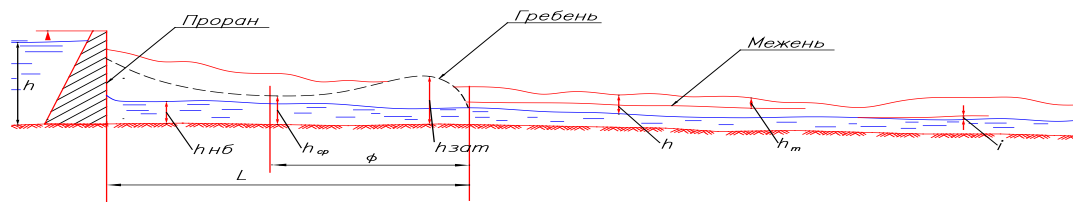


Рис. 1.2 Схема волны прорыва

h - уровень реки в момент образования прорыва; $h_{нб}$ - глубина реки в нижнем бьефе; $h_{эф}$ - высота затопления участка местности при его полном формировании; $h_{зат}$ - максимальная высота затопления участка местности по створу; h_m - высота участка местности к уровню воды в реке в межень; Φ - фронт волны прорыва; L - расстояние от плотины до створа; $h_{вб}$ - глубина водоема перед плотиной в момент ее разрушения; i - уклон водной поверхности.

На основе обобщения большого фактического (статистического) материала о техническом состоянии и аварийности гидросооружений напорного типа установлено, что основными причинами отказа (аварийности) являются: чрезмерная проницаемость грунтов оснований, деформационная неоднородность оснований и недостаточная прочность оснований на сдвиг. Поэтому основным объектом исследования аварийности среди всех типов гидросооружений должны быть гидросооружения напорного типа на грунтовых основаниях.

Геоэкологические последствия аварий на гидросооружениях напорного типа определяются величиной гидродинамического давления потока воды, особенно во фронте действия волны прорыва, уровнем и временем затопления, деформацией речного русла, загрязнением гидросферы, почв, размыванием и переносом грунтов.

2. Риск аварий на гидротехнических сооружениях

Оценка аварийности ГТС, характеризуется главным образом по степени надежности гидросооружения, а также показателем риска. Анализ и методика оценки риска аварий на ГТС рассматривается исходя из негативного процесса, происходящего на ГТС, сопровождаемого определенной величиной ущерба.

При определении риска последствий аварий на ГТС учитываются многие факторы состояния и уязвимости объекта, которые учитываются в общей методике расчета:

$$R_c(N) > P(N) \cdot P(Z) \cdot C_y(N) \cdot Z,$$

где: $P(N)$ – вероятность проявления неблагоприятных событий; $P(Z)$ –

вероятность нахождения объекта оценки в зоне проявления последствий аварий; $S_u(N)$ – степень социальной уязвимости определенной группы людей; Z – число всех людей.

Методика оценки риска последствий аварий на ГТС может сводиться к определению ущерба от воздействия сбрасываемых вод в пределах территории, на которой реализуется поражающие факторы действия волны прорыва и вод затопления. Расчетной формулой для определения риска гибели людей в зоне проявлений поражающих факторов последствий аварий на гидротехническом сооружении ($R_{ГТС}$), может быть произведение вероятностей реализации факторов события (аварии): $R_{ГТС} = P_a \cdot P_3 \cdot P_c \cdot N$, где: P_a – вероятность осуществления аварии в результате проявления негативных событий техногенного или природного происхождения, сопровождаемая прорывом плотины. Средний статистический показатель вероятности разрушения плотин различных гидротехнических сооружений P_a может быть в интервале значений от $0,28 \times 10^{-2}$ до $0,2 \times 10^{-2}$; P_3 – вероятность формирования волны прорыва и зоны затопления с показателями поражающего действия; P_c – вероятность гибели населения в зоне действия волны прорыва и затопления; N – количество людей, находящиеся в зоне действия волны прорыва и затопления.

Величина значения вероятности формирования волны прорыва и зоны затопления с показателями поражающего действия P_3 может зависеть от многих неопределенностей и оцениваться как: $P_{3,1} = 0,75; 0,5; 0,25$.

Вероятность гибели людей P_c в зоне действия волны прорыва и затопления принимается по среднестатистическому показателю $(9,7) \cdot 10^{-1}$ т.е $P_c = 1 \cdot 10^{-1}$.

В общем виде средний показатель риска гибели людей в зоне аварии ГТС на грунтовом основании будет иметь вид:

$$R_{ГТС} = 0,24 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 10 \cdot N \quad \text{или} \quad R_{ГТС} = 1,2 \cdot 10 \cdot N, \text{ гибель людей.}$$

Согласно методике можно принять риск гибели людей в населенных пунктах сел. типа при высоте гребня волны прорыва $h=1-2\text{м}$ $R_1 = 1 \cdot 10^{-4}$;

$$\text{при } h=2-3\text{м } R_2 = 1 \cdot 10^{-3}; \text{ при } h=3-4\text{м } R_3 = 1 \times 10^{-2}; \text{ при } h > 4\text{м } R = 1 \cdot 10^{-1}.$$

Для ГТС, находящиеся длительное время в эксплуатации, риск аварии

может оцениваться через интенсивность технического риска $A(t)$, как аналога интенсивности отказов в теории надежности, т.е.

$$A(t) = \frac{n(t + \Delta t / 2) - n(t - \Delta t / 2)}{[N - n(t)] \Delta t},$$

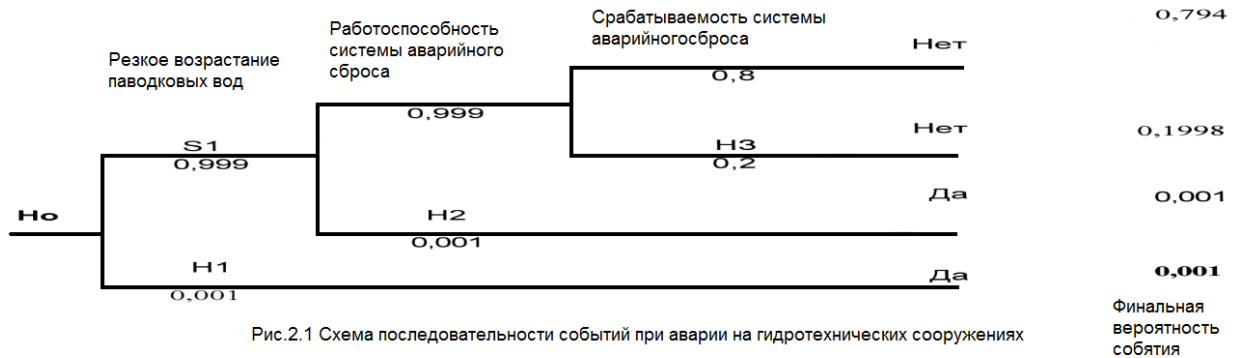
где, N – число работоспособных элементов объекта в начале времени t ; $n(t + \Delta t / 2)$ и $n(t - \Delta t / 2)$ – число элементов объекта, переходящих в предельное состояние от 0 до t_i

Набор обстоятельств (не только отказов системы, но и внешних воздействий на нее), ведущих к аварии, можно проследить с помощью дерева событий. В отличие от структурных схем и деревьев отказов деревья событий имеют более полное физическое содержание. Анализ дерева событий может дать ответ на вопрос: какие аварийные ситуации могут возникнуть и какие вероятности этих событий? Ответы могут быть получены с помощью анализа потенциальных сценариев аварии. Последовательности потенциальных событий определяются, начиная с исходного события и последующего анализа прочих событий, вплоть до того момента, когда авария либо происходит, либо предотвращается. Дерево рисуется с исходного события. Этим исходным событием является любой фактор, который может привести к отказу какой-либо системы или компонента. В дереве событий исходные события связаны со всеми другими возможными событиями – ветвями, а каждый сценарий представляет собой путь развития аварии, состоящий из набора таких разветвлений.

Определив все исходные события и организовав их в логическую последовательность, можно получить большое число потенциальных сценариев аварии. С помощью анализа дерева событий можно определить пути развития аварии, которые вносят наибольший вклад в риск из-за их высокой вероятности или потенциального ущерба.

Построение дерева событий для конкретных условий функционирования объекта дает возможность: - определить взаимосвязь отказов систем с возможными последствиями аварии; - сократить первоначальный набор потенциальных аварий и ограничить его лишь логически значимыми авариями; - идентифицировать верхние события для анализа дерева отказов.

Пример дерева событий показан на рис. 2.1, что соответствует гипотетической последовательности событий при аварии на гидротехническом сооружении при прорыве плотины вследствие переполнения водохранилища паводковыми водами.



Надежность ГТС - это свойство конструкции сохранять свои эксплуатационные качества в пределах, не превышающих показатели воздействия внешних факторов, предусмотренных в проектных решениях, и может выражаться вероятностью безотказной работы сооружения в течение проектного времени эксплуатации, т.е.

$$P_{над}(t) = \exp\{-T(t)\},$$

где $T(t)$ функция ресурса сооружения за время t .

Безопасность ГТС - это состояние защищенности всех элементов конструкции и всего сооружения от внешних факторов воздействия, не превышающие их показатели проектных решений за время установления ресурса эксплуатации объекта (срока службы) и выражается вероятностью отказа (аварии) в течение времени ресурса, т.е.

$$P_{без}(t) = P\{T > t\},$$

где, $T > t$ - время отказа в течение времени ресурса.

По аналогии с другими опасными объектами, как например АЭС, можно принять в качестве приемлемого риска для гидротехнических сооружений показатель, не превышающий $1 \cdot 10^{-6}$ 1/год, т.е.

$$R_{змс} \leq 10^{-6}.$$

ГТС относятся к стареющим системам. Фактор старения для каждого

сооружения определяется из особенностей конструкции плотины, состояния элементов окружающей среды и пр. Для корректировки надежности безопасности и риска сооружения необходимы специальные контрольные измерения и наблюдения, среди которых наибольшее значение имеют: геодезические контрольные измерения и дистанционные методы контроля за динамикой гидрологического состояния среды в зоне функционирования сооружения.

3. Аэрогеодезические методы идентификации рискованных ситуаций в зоне функционирования ГТС напорного типа

Современные методы дистанционного зондирования позволяют на стадии раннего развития рискованных ситуаций устойчивости ГТС в условиях экстремально изменяющейся внешней среды определять: границы береговой линии водоема и динамику ее изменения, наличие и характер увлажнения почв, и подтопление территорий, динамику движения водных масс и наполнение водоема, характер и зоны затопления, техническое состояние плотины и динамику аварийного сброса вод, наличие и состояние геологических аномалий непосредственного в зоне ГТС (см. табл. 3.1).

Таблица 3.1

Возможности методов дистанционного зондирования по идентификации рискованных ситуаций в зоне функционирования гидротехнического сооружения

| Методы зондирования | Фактор состояния объекта | Причины возникновения фактора | Признак рискованной ситуации | Спектр съемки, мкм | Факторы ограничения съемки | Применимость метода |
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|
|---------------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|

| | | | | | | |
|--------------------------------|--|---|---|---------------------|--|-----------------|
| Фотосъемка в видимом диапазоне | Увеличение площади водоема, изменение очертания береговой линии. | Обильные осадки, паводки | Увеличение напора вод на стенки сооружения, переувлажнение грунтов в основании плотины. | 0,4– 0,78 | Темное (ночное) время суток, облачность. | Ограничено |
| | Увеличение сброса вод через водосбросную систему сооружения. | Обильные осадки, паводки | Увеличение напора вод на стенки сооружения, затопление территории ниже бьефа. | 0,4– 0,78 | Темное (ночное) время суток, облачность | Ограничено |
| | Разрушение плотины. | Деформация опорных конструкций сооружения | Возникновение волны прорыва, затопление территории | 0,4-0,78 | Темное (ночное) время суток, облачность | Ограничено |
| Многозональная фотосъемка | Мутность вод | Увеличение ливневых стоков с прилегающей территории | Переувлажнение грунтов, увеличение объема водоема | 0,4-0,48 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| | Глубина водоема | Обильные осадки, паводки | Повышение напора вод на стенки сооружения | 0,48-0,64 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| | Влажность почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотин | 0,7-0,92 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| Мультиспектральная съемка | Мутность и загрязненность вод | Паводки, пром. сбросы, | Увеличение напора вод на стенки плотины | 0,4-0,8 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| | Аномалии в береговой линии | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотин | 0,4-0,8 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| | Влажность почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотин | 0,4-0,8 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| | Зоны затопления | Обильные осадки, аварийные сбросы | Затопление территорий | 0,4-0,8 | Темное (ночное) время суток | Ограничено |
| Инфракрасная (тепловая) съемка | Переувлажнение почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотин | 3,0-5,0 8,0-12,0 | | Без ограничения |
| | Техногенные и ливневые сбросы, эрозия почв | Обильные осадки, паводки, аварии на пром. объектах | Снижение устойчивости оснований плотин | 3,0-5,0 8,0-12,0 | | Без ограничения |
| | Деформация грунтов, развитие карста, суффозии, соли флюксии | Длительные и обильные осадки, сейсмические аномалии | Снижение устойчивости оснований плотин | 3,0-5,0 8,0-12,0 | | Без ограничения |

| | | | | | | |
|----------------------|-----------------------------------|--|---|-----------|--------------------------------|-----------------|
| Радиосъемка | Загрязнение вод | Паводки, ливневые и техногенные сбросы | Увеличение напора вод на стенки плотины | 1мм-10м | | Без ограничения |
| | Влажность почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотины | 1мм-10м | | Без ограничения |
| | Очертания береговой линии | Обильные осадки, паводки | Переполнение водоема | 1мм-10м | | Без ограничения |
| Телевизионная съемка | Загрязнение вод | Ливневые и аварийные пром. сбросы | Увеличение напора вод на стенки плотины | 0,5-0,75 | Темное время суток, облачность | Ограничено |
| | Влажность почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотины | 0,5-0,75 | Темное время суток, облачность | Ограничено |
| | Очертания береговой линии водоема | Обильные осадки, паводки | Переполнение водоема | 0,5-0,75 | Темное время суток, облачность | Ограничено |
| Лазерная съемка | Загрязнение вод | Ливневые и аварийные сбросы | Увеличение объема вод водоема | 10-720 нм | | Без ограничений |
| | Влажность почв | Обильные осадки, паводки | Снижение устойчивости оснований плотины | 10-720 нм | | Без ограничений |

Наибольшей информативностью по идентификации рисков ситуации в зоне функционирования ГТС обладают такие методы дистанционного зондирования как: инфракрасная (тепловая) съемка и съемка в видимом диапазоне спектра. Вследствие возможного проявления различных негативных факторов природного и техногенного происхождения, изменяющих прочностные характеристики сооружения, отдельные элементы сооружения могут испытывать различного рода деформации. Для установления причин и прогноза развития этих деформаций применяются геодезические методы наблюдения за деформациями. Наиболее распространены геодезические наблюдения за вертикальными смещениями (осадками). Состояние сооружения оценивают по величинам деформаций, наблюдаемых во времени по положению контрольных точек, фиксированных в характерных местах гидросооружения. Мониторинг технического состояния несущих конструкций плотин осуществляется с целью обеспечения их безопасного функционирования и является основой эксплуатационных работ на этих объектах.

Для достижения наибольшей эффективности в раннем обнаружении

деформационных процессов в основании плотины разработана методика наклономерных наблюдений за смещениями в основании сооружения. Согласно этой методики в основание ГТС и вокруг него закладывается сеть наклономерных станций и реперов, с помощью которых определяются вектора смещения основания сооружения по границам скольжения, а также количественные величины и направления смещений.

В целях практической реализации методики наклономерных наблюдений предлагается метод оценки точности и достоверности измерений и рекомендации по его применению.

Комплексное применение методов дистанционного зондирования и геодезических измерений позволяет достичь максимальных результатов раннего обнаружении рискованных ситуаций в зоне функционирования ГТС и своевременно принимать управленческие решения на снятие напряженности в развитии риска. Структура методики оценки риска последствий аварий на ГТС показана на рис 3.2.

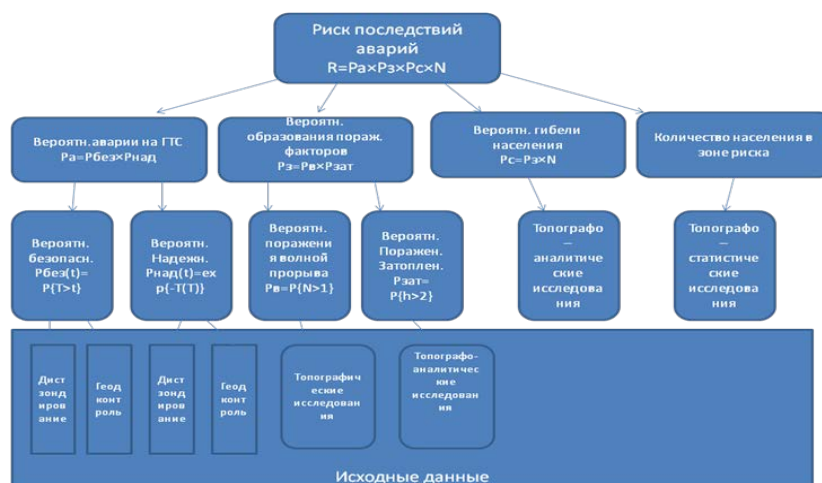


Рис 3.2 Структура методики оценки риска последствий аварий на ГТС.

4. Оценка риска последствий возможной аварии на гидротехническом сооружении Истринского водохранилища (Экспериментальная часть)

Истринское водохранилище создано в целях водоснабжения столицы в 1935 г. на р. Истре, притоке Москвы реки, в 70 км от его устья. Площадь - 3360

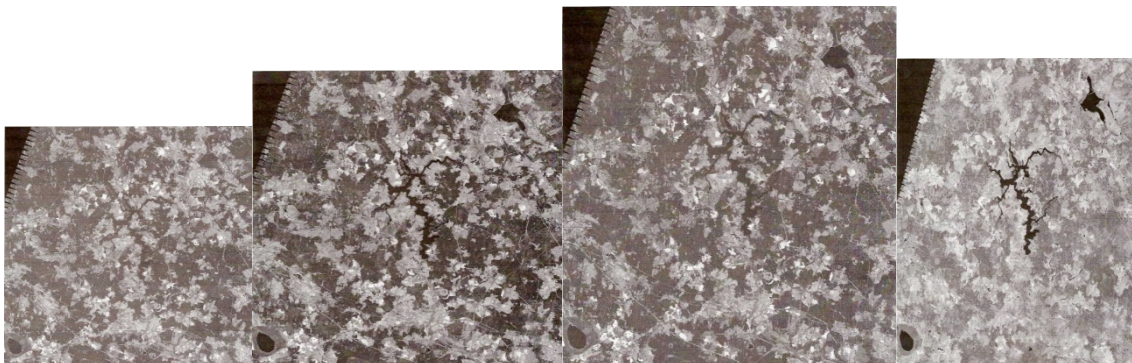
га, максимальная глубина у плотины — 23 м (см рис. 4.1 и 4.3).



Рис. 4.1 Общий вид плотины

Гидрологическая обстановка на территории функционирования Истринского гидроузла оценивалась по материалам космических снимков Landsat-7 участка территории Истринского и Рузского районов Московской области в диапазонах 0,45-0,52 мкм, 0,52-0,60 мкм, 0,63-0,69 мкм, 0,76-0,90 мкм., 1,55-1,75 мкм., 2,08-2,35 мкм.

На снимках исследовались возможности определения участков подтопления путем автоматизированного дешифрирования. Для решения этой задачи было проведено полевое изучение местности с целью определения тестовых участков классов объектов, присутствующих на снимках (см. рис 4.2). Согласно проведенным расчетам установлено, что в процессе возможной аварии напор потока воды во фронте волны прорыва не достигает 2 м/с и поэтому не может рассматриваться как фактор гибели людей. Вместе с тем, расчетная высота гребня волны прорыва от 1м и выше сохраняется в потоке до линии створа №4, что позволяет оценивать риск гибели людей равной $R = \text{от } 1 \cdot 10^{-4} \text{ до } 1 \cdot 10^{-3} \text{ т.е. } 1-2 \text{ человека.}$



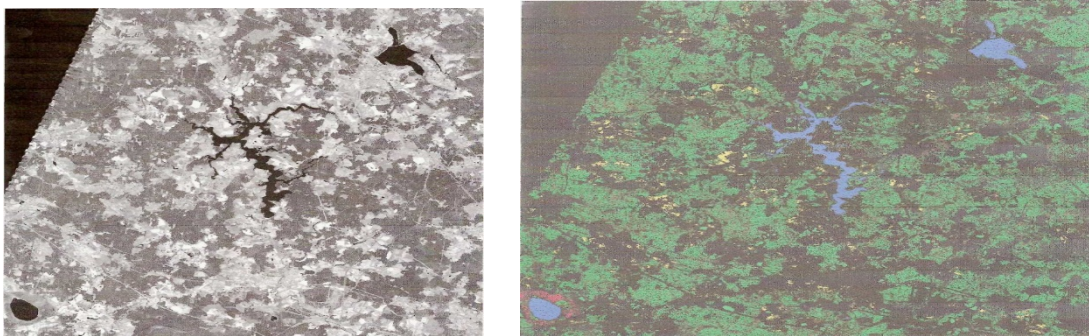


Рис. 4.2 Космические зональные снимки Landsat-7 района Истринского водохранилища.

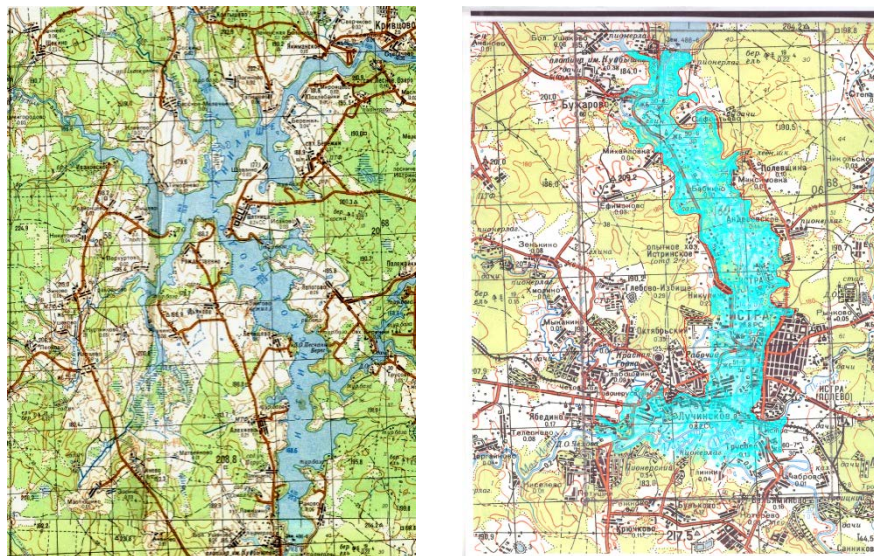


Рис. 4.3 Карта Истринского водохранилища и карта зоны возможного затопления

Проведенный эксперимент по геоэкологической оценке последствий возможной аварии на гидросооружении Истринского водохранилища (см. рис 4.3) показал хорошую технологичность предлагаемой методики оценки риска последствий аварии на гидротехническом сооружении.

Заключение

1. Аварии на гидросооружениях напорного типа характеризуются масштабными воздействиями ниспадающих огромных водных масс на больших территориях, сопровождаемые: гибелью людей; разрушением жилых строений, промышленных объектов и элементов инфраструктуры; уничтожением и деградацией сельскохозяйственных угодий, ландшафта и пр.

2. Формируемая тенденция роста аварий на гидросооружениях напорного типа обусловлена изменяющимися параметрами климата (повышение средней глобальной температуры воздуха, увеличение объема осадков, таяние ледников)

и, как следствие, - изменение гидрологического режима поверхностных и подземных вод (переувлажнение почв, подтопление, заболачивание, нарушение баланса сточных вод), а также повышением техногенных нагрузок на геоэкологию территории (повышение сейсморезонансных колебаний в зоне функционирования промышленных предприятий и горных выработок). Все эти факторы, определяющие объемы и характер воздействия на устойчивость гидротехнических сооружений, как по отдельности, так и в сумме превышают проектные показатели, установленные для их эксплуатации в условиях предыдущих лет (50 лет и более).

3. Наибольшей опасности возникновения и развития аварийной ситуации подвержены гидросооружения напорного типа на грунтовых основаниях в зоне переувлажнения и экстремальных погодных условий, сопровождаемых обильными осадками и паводками.

4. Поражающими факторами аварии на гидросооружениях напорного типа являются: волна прорыва и затопление территории.

5. Риск аварий на гидротехнических сооружениях – есть вероятностный ущерб, реализуемый в зоне поражающего действия волны прорыва и затопления, возникающих в результате разрушения плотины под воздействием неблагоприятных факторов, формируемых экстремальными показателями состояния окружающей среды (обильные и длительные осадки, паводки, сейсмические явления и геологические аномалии). На основе моделирования процессов вероятностного развития разрушения плотины и действия поражающих факторов аварии разработана методика оценки риска последствий аварии на гидротехническом сооружении напорного типа, позволяющая оценивать ущерб от поражающего действия волны прорыва и вод затопления (гибель людей и материальных ценностей, деградирование природных объектов).

6. На основе изучения возможных процессов формирования и развития рискованных ситуаций на территории функционирования гидротехнического сооружения установлены основные идентификационные пути решения проблем по их оценке при использовании дистанционного зондирования и

геодезического контроля динамики грунтов.

7. Наибольшей информативностью по идентификации показателей рискованных ситуаций в районе функционирования гидротехнического сооружения и непосредственно на самом сооружении на стадии раннего обнаружения являются возможности аэрокосмической съемки в видимом диапазоне и в инфракрасном (тепловом) спектре, а на стадии снижения устойчивости сооружения – наклономерный метод геодезического контроля.

8. В целях получения практических рекомендаций по использованию метода наклономерных измерений уточнена методика наклономерных наблюдений за смещениями в основании плотины, учитывающая геофизику грунтов в основании плотины и местные особенности гидрологического режима поверхностных и грунтовых вод, дающая измерения в непрерывном режиме.

**Основное содержание диссертационного исследования автора отражено в
следующих публикациях**

Периодические издания рекомендованные ВАК

1. Кроличенко В.В. Кроличенко В.Ф. Определение осадки инженерных сооружений и горных выработок методом наклономерных наблюдений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка №1. 2001г. стр. 21.

2. Кроличенко В.В. Социальные последствия аварий плотин и катастрофических паводков. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка №1. 2006г. стр. 61.

3. Кроличенко В.В. Кроличенко О.В. Методы и средства контроля устойчивости гидротехнических сооружений. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка №3. 2006г. стр. 37.

4. Кроличенко В.В. Методы наблюдения за смещением грунтов на гидродинамических объектах. Сборник научных трудов студентов и аспирантов Московского региона посвященных «дню защиты от экологической опасности

М.О.»2003г. стр. 83-86.

5. Кроличенко В.В. Кроличенко В.Ф. Кроличенко О.В. Причины вызывающие смещение горных пород и влияние гидрологических факторов на их устойчивость. Россия. Москва. Строительство и недвижимость, экспертиза и оценка. Прага. Ноябрь 2006 г.

6. Кроличенко В.В. Оценка риска последствий аварий на гидросооружениях. Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка №2. 2006г. стр. 42.

7. Кроличенко В.В., Кроличенко О.В. Дешифрирование участков подтопления по данным многозональной съемки Landsat-7 территории Истринского и Рузского районов Московской области. Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка №2. 2008г. стр. 156.

8.Сборник лабораторных и практических работ по курсу БЖД. Москва. 2010г. МИИГАиК .Буров В.Н. Кроличенко В.В. «Оценка последствий аварий на ГТС объектах».