Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

# Кафедра безопасности жизнедеятельности

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе

**Прогнозирование последствий чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях Павловской ГЭС**

Уфа 2006

Введение

Родиной самых первых гидротехнических сооружений (ГТС) можно назвать Древний Египет, где до наших дней сохранились остатки одного из самых ранних гидротехнических сооружений – плотины Сад Эль-Кафар, которая была построена приблизительно между 2950 и 2750 гг. до н. э. Еще в древних цивилизациях жизненно важным фактором было управление водными ресурсами с целью обеспечения орошения и водоснабжения. Поэтому площадь водного зеркала создаваемых водохранилищ постоянно увеличивалась, а после 1915 г. стало возможным создание водохранилищ с площадью водного зеркала более 100 кв. км, в результате изменений в технологии земляных и бетонных работ, позволивших возводить крупные и сравнительно дешевые сооружения. Но бум гидротехнического строительства приходится на последние 30-40 лет, когда было построено более 85 % всех существующих в мире плотин.

Ежегодно на земном шаре вступают в эксплуатацию несколько сот новых водоемов – водохранилищ с общей площадью, превосходящей акваторию десяти Азовских морей. Сейчас не так уж много рек, на которых нет хотя бы подобного сооружения. Так, «в России построено и находится в эксплуатации свыше 3 тыс. водохранилищ». [1, с.1] Ежегодно в строй вступает от 300 до 500 новых водохранилищ. Многие крупные реки планеты – Волга, Ангара, Миссури, Колорадо, Парана и др. – превращены в каскады водохранилищ.

Однако создание водохранилищ имеет негативную сторону. С одной стороны, они объективно нужны для социально-экономического развития общества, для снабжения населения водой, продовольствием, энергией, в борьбе с наводнениями и т.д. С другой – оказывают отрицательное воздействие на природу и хозяйство речных долин выше и ниже створа плотин, а также являются источником возможной угрозы жизни населения, проживающего ниже створа гидроузла, и нанесению большого материального ущерба, т.е. являются потенциально опасными объектами.

Подпорные гидротехнические сооружения довольно надежны и долговечны – многие из них функционируют десятки и даже сотни лет. Однако материалы мировой статистики и события недавних лет свидетельствуют о том, что аварии на гидроузлах возможны, они могут привести к повреждению и разрушению плотин и примыкающих к ним сооружениям.

Последствия аварии водохранилища (например, прорыв большой плотины на реке) могут быть исключительно велики. В отличие от промышленных, транспортных и других сооружений, ущерб от аварий которых во многих случаях оценивается стоимостью восстановления разрушенных частей самого сооружения, ущерб от аварии подпорного гидросооружения обычно во много раз превосходит его стоимость. Это объяснятся тем, что при этом, помимо человеческих жертв, разрушаются и другие сооружения на реке и её берегах, парализуется деятельность предприятий целых районов, базировавшихся на данном гидросооружении, восстановление же последнего требует обычно ряда лет. Это обстоятельство заставляет считать гидросооружения весьма ответственными сооружениями, проектирование, строительство и эксплуатация которых требует исключительного внимания.

Как часто всё же происходит авария с гидротехническими сооружениями? «Французские специалисты дают такой ответ на этот вопрос. Начиная с VIII в. каждые 5 лет разрушалась 1 плотина. За сорокалетний срок, предшествовавший 1975 г., количество аварий значительно увеличилось и составляло примерно 1 катастрофу в среднем с 50 человеческими жертвами каждые 15 месяцев. Причиной этого является строительство всё более высоких плотин с большими водохранилищами в сложных природных условиях». [2, с. 15]

Гидротехнические объекты могут быть источником колоссальных бедствий и не по причине непосредственного разрушения сооружений. К примеру, спустя несколько лет после окончания строительства высотной плотины и заполнения водой водохранилища «Вайонт» в Италии, 9 октября 1963 г. 240 млн. куб. м меловых пород оторвались от горы Ток и сместились в водохранилище. Только 15 сек. понадобилось для полного заполнения грунтом чаши водохранилища, выплёскивания воды на противоположный склон на высоту 260 и 100 м над плотиной. Плотина осталась стоять, но… только мертвым памятником трём тысячам жертв, погибших в этой катастрофе. В результате разрушен г. Лонжерон.

Создание и эксплуатация водохранилищ вызывают также значительные изменения в природе и хозяйстве речных долин, на прилегающих к ним территориям, в долинах ниже плотин и в приустьевых участках морей и озер, в которые впадают зарегулированные водохранилищами реки. Однако следует отметить, что значительные или заметные изменения в окружающей среде вызывают преимущественно крупные и некоторые средние водохранилища. Влияние небольших и малых водохранилищ на природу и хозяйство территории, обычно невелико, а нередко и положительно.

«Проблема потенциальной опасности гидротехнических сооружений в Башкортостане весьма актуальна. В республике около 1500 различных гидротехнических сооружений; некоторые из них находятся в аварийном состоянии или просто бесхозными». [3, с. 13]

Так, 7 августа 1994 г. произошла авария на плотине Тирлянского водохранилища в бассейне реки Белой в РБ, когда после интенсивных дождей из-за изношенности механизмов не удалось открыть все отверстия берегового водосброса (работало только одно) и вода из переполненного водохранилища устремилась через гребень земляной плотины, которую разрушило в течение нескольких часов (семиметровая волна прорыва снесла поселок Тирлян, погибли 28 человек). В результате, жители населенных пунктов, расположенных в районе каких-либо ГТС, стали с некоторой опаской и паническим недоверием относится к данному виду сооружений на реках.

Как уже говорилось выше, бум строительства ГТС пришелся на последние 30-40 лет. В этот же период, с 1950 – 1961гг., были построены и ГТС Павловской ГЭС.

Павловский гидроузел был построен в целях комплексного использования водных ресурсов реки Уфы, с учетом перспективного развития энергопотребления, водоснабжения и судоходства. Водохранилище используется для перевозки пассажиров, сухогрузов, нефтепродуктов, леса, лесоматериалов и в целях рекреации. На его берегах расположено 11 учреждений отдыха: турбазы, базы отдыха, детские и спортивные лагеря.

В комплекс Павловского гидроузла входят водоподпорные, водопроводящие, судоходные и другие сооружения, повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, поскольку от их надежности зависит не только работа Павловской ГЭС, но и функционирование хозяйственных и промышленных объектов региона. Ниже створа водоподпорных сооружений головного узла, в 5-10 км от створа, расположены населенные пункты Красный Ключ, Нижняя Павловка, Яман-Елгинский ЛПХ, Кировка.

Согласно статье 21 п.2 Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» [4] принятого Государственной Думой 23 июня 1997 года «гидротехнические сооружения, которые находятся в эксплуатации при вступлении в силу настоящего Федерального закона, вносятся в Российский регистр гидротехнических сооружений в безусловном порядке без представления деклараций безопасности гидротехнических сооружений». Следовательно, гидротехнические сооружения Павловской ГЭС находятся в российском регистре ГТС с момента вступления в силу вышеупомянутого Федерального закона и на них распространяются требования, предъявляемые этим законом к ГТС.

Одним из требований к ГТС, предъявляемых Федеральным законом, является предоставление Декларации безопасности – основного документа, который содержит сведения о соответствии гидротехнического сооружения критериям безопасности. «Декларация необходима для организации контроля за соблюдением мер безопасности, оценки достаточности и эффективности мероприятий по предупреждению и ликвидации ЧС на промышленном объекте. Он является документом, где отражаются характер и масштабы опасностей на промышленном объекте и мероприятия по обеспечению промышленной безопасности и готовности к действиям в техногенных чрезвычайных ситуациях. Обязательному декларированию безопасности подлежат проектируемые и действующие промышленные объекты, имеющие в составе особо опасные производства, а также гидротехнические сооружения, хвостохранилища (отходы производств) и шлаконакопители, на которых возможны гидродинамические аварии». [5, с.7-8]

Учитывая вышеизложенное и во исполнение требований ФЗ «О безопасности ГТС», Павловская ГЭС была включена в перечень объектов электроэнергетики, подлежащих декларированию безопасности в 1998 году (совместный приказ Минтопэнерго России и МЧС России от 31 декабря 1997 г. №461/792), и к 29 сентября 1999 г. Декларация безопасности ГТС Павловской ГЭС была разработана.

Из сведений, представленных в декларации, можно сделать вывод, что гидротехнические сооружения находятся в работоспособном состоянии и условия их эксплуатации соответствуют действующим нормам и правилам. Уровень безопасности ГТС оценивается как «нормальный». Представленная информация о мерах по локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций, защите от них населения и территорий позволяет сделать вывод, что Павловская ГЭС готова в случае необходимости к ликвидации и локализации чрезвычайных ситуаций.

Павловская ГЭС имеет в необходимом объеме лицензии на осуществление видов деятельности, связанных с обеспечением безопасности. На гидроузле существует группа наблюдений за состоянием ГТС в количестве 3 человек, которая осуществляет надзор за безопасностью ГТС в объеме и сроки удовлетворяющие требованиям руководящих документов, а также спасательная группа в количестве 50 человек.

Однако проблема повышения устойчивости функционирования любых ГТС в современных условиях приобретает все большее значение в связи с:

* снижением трудовой и технологической дисциплины на всех уровнях;
* высоким производственным износом основных фондов, с одновременным снижением темпов их обновления (Павловская ГТС эксплуатируется уже более 40 лет, а фактическая реализация ремонтных работ сдерживается из-за финансовых возможностей ОАО «Башкирэнерго»);
* слабой нормативно-правовой базой, обеспечивающей страхование объекта на случай ущерба (договора страхования Павловской ГЭС на случай ущерба от стихийного бедствия не имеется, в связи с отсутствием нормативно технической документации по определению ущерба и страхования ГТС);
* отставанием отечественной практики от зарубежной в области использования научных основ проблемного риска в управлении безопасностью и предупреждением ЧС;
* повышение вероятности возникновения военных конфликтов и террактов.

В сценарии возможной аварии на гидроузле, изложенном в Декларации безопасности Павловской ГЭС, а также в результатах расчета возможного ущерба от этой аварии, уровень безопасности оценивается как нормальный, а возможный ущерб от аварии не подлежит обязательному учету для сооружений 2-го класса. Поэтому в дипломной работе расчет возможных последствий от аварии производился не по предложенному сценарию в декларации безопасности, а по сценарию с большой редкостью, а, следовательно, и ущербом.

Большая часть многих современных ГТС функционирует 20-30 лет (Павловский гидроузел – 40 лет). Это значит, что они входят в период «старения» и нуждаются в особом внимании. В связи с этим необходимо рассмотреть различные сценарии возможных аварий, в том числе опорожнение водохранилищ, предусмотреть оценку последствий и составление карт последствий разрушения ГТС (возможного прохождения волн прорыва), а также разработать рекомендации по оповещению и спасению людей.

В данном дипломной работе в разделе 1 представлены краткая информация о гидросооружениях, а также данные о различных авариях, произошедших на гидроузлах.

В разделах 2, 3 проведен анализ безопасности гидротехнических сооружений Павловской ГЭС, дано краткое описание Павловского гидроузла и рассмотрены уязвимые места гидротехнических сооружений Павловской ГЭС.

В разделе 4 рассмотрен вопрос сейсмоустойчивости ГТС, приведены основные принципы сейсмостойкого строительства различных типов плотин.

В разделе 5, 6 приведены сведения об имевших место аварийных ситуациях на Павловском гидроузле, сценарий возможной аварии на Павловском гидроузле, а также оценка величины ущерба.

В разделе 7 рассмотрены мероприятия по обеспечению безопасности объекта, а в Приложении проведен расчет прохождения волны прорыва и затопления местности в результате аварии на Павловском гидроузле с использованием программы «ВОЛНА 2.0».

1. Чрезвычайные ситуации, характерные для данного объекта и их последствия.

1.1 Общие сведения о гидротехнических сооружениях

Особенности и условия работы гидротехнических сооружений.

Основная особенность гидротехнических сооружений и отличие их от других видов инженерных сооружений состоит в том, что они работают (эксплуатируются), находясь в стоячей или движущейся воде, которая оказывает на них силовое (механическое), физико-химическое и биологическое воздействия.

Механическое воздействие воды на сооружение сказывается в виде давления – гидростатического и гидродинамического. Давление воды является основной нагрузкой большинства гидротехнических сооружений, определяющей их размеры и формы.

Но вода оказывает механическое давление на гидротехнические сооружения не только как жидкость. В холодный период ледяной покров, образующийся в водоемах, может производить статическое давление при повышении температуры льда и динамическое – в виде ударов плывущих льдин.

Наносы, влекомые потоком, осаждаясь перед гидросооружениями, также создают на них статическое давление, действующее в ту же сторону, что и напор воды.

Физико-химическое действие воды сказывается на материале сооружения и на водонепроницаемом грунте основания. Так, движущаяся с большими скоростями вода, особенно если она влечет с собой наносы, истирает поверхности сооружения, разрушает речное ложе; металлические части подвергаются коррозии, вследствие чего полезная толщина их постепенно уменьшается. Бетонные части сооружений, находясь под действием фильтрующейся через них воды, могут разрушаться в результате выщелачивания из них несвязной (свободно) извести, если вода обладает агрессивными (по отношению к бетону) свойствами.

Биологическое действие сказывается в разрушительной деятельности живущих в воде различных микроорганизмов. Последняя выражается в гниении дерева и истачивании его морской шашелью, в разрушении камня в морской воде камнеточцем.[2, с. 13-14]. Кроме того, в определенных условиях (в глубоких водохранилищах) наличие некоторых микроорганизмов приводит к появлению органической серы (сероводорода), которая в присутствии воды превращается в серную кислоту, разрушающую бетон. [6, с. 19].

Классификация гидротехнических сооружений.

Гидротехнические сооружения классифицируют по нескольким признакам.

В зависимости от того, воспринимают ли они напор воды, их делят на напорные и безнапорные. У напорных сооружений уровень воды перед сооружением всегда выше, чем за ним; эту разность уровней называют напором. У безнапорных сооружений уровни воды перед сооружением и за ним практически равны.

Часть реки или водоема по ту сторону напорного сооружения, где уровень воды более высок, называют верхним бьефом (сокращенно – в. б.), а по другую сторону – нижним бьефом (н. б.); в некоторых случаях вода в нижнем бьефе может отсутствовать.

Одни гидротехнические сооружения применяют во всех отраслях водного хозяйства, другие только в некоторых из них. В зависимости от этого их делят на сооружения общего и специального назначения.

К гидротехническим сооружениям о б щ е г о назначения относятся следующие.

Водоподпорные (водоподъемные) сооружения, создающие и поддерживающие подпор воды, т.е. поднимающие уровень в реках и озерах до заданных отметок; к ним относятся все типы плотин и дамб, которыми перегораживают естественные и искусственные водотоки, приплотинные здания ГЭС, напорные водозаборы.

Водозаборные (водоподводящие) сооружения строятся для подачи воды из рек, озер, водохранилищ, прудов к местам ее потребления и использования; в зависимости от природных условий они бывают в виде каналов, лотков различных сечений и конструкций, трубопроводов туннелей.

Регуляционные и берегоукрепительные сооружения предназначены для регулирования речных русел в целях создания благоприятных условий для протекания в них водного потока и предотвращения его разрушающего действия на русло, защиты населенных пунктов и земельных угодий от затоплений; улучшения условий пропуска шуги, внутриводного и поверхностного льда на зажорно-заторных участках рек и селей на селеопасных участках рек; улучшения условий подхода водных потоков к отверстиям мостовых переходов и дорожных труб. К этим сооружениям относятся струенаправляющие дамбы, запруды и полузапруды, траверсы, прокопы, а также подпорные стенки, ограждения и укрепления для предохранения берегов от размыва и др.

Сопрягающие сооружения служат для безопасного сопряжения потоков, озер, водохранилищ, расположенных на разных отметках, при их соединении между собой; для сопряжения с нижним бьефом потоков, протекающих через водосбросы плотин. Эти сооружения возводят при прокладке каналов в местах сосредоточенного падения местности, где возникает угроза размыва русел. Сопрягающие сооружения устраивают при некоторых типах ГЭС, используя как аварийные сбросы воды.

Водосбросные (водосливные) сооружения предназначены для сброса излишков воды из водохранилищ в н. б. Во избежание их переполнения в периоды половодий и паводков, а также для опорожнения водохранилищ.

К гидротехническим сооружениям общего назначения могут быть отнесены следующие типы, изредка встречающиеся в основных отраслях водного хозяйства. Это ледосбросные сооружения (ледосбросы и шугосбросы) применяют в составе гидроузлов на реках с тяжелыми условиями ледохода и шугоносных реках при необходимости пропуска льда и шуги из верхних бьефов (при малой их емкости) в нижние; отстойники и промывные устройства, служащие для улавливания речных наносов перед входами в водозаборные сооружения и для удаления промыва задержанных наносов из отстойников в нижний бьеф; рыбопропускные сооружения (рыбоходы, рыбоподъемники), служащие для обеспечения прохода рыб к нерестилищам через напорные сооружения.[6, с. 20-24]

Гидроэнергетические (здания ГЭС, уравнительные резервуары, строящиеся при некоторых ГЭС и т.п.).

Воднотранспортные (судоходные шлюзы, судоподъемники, пристани, лесоплавильные лотки и т.п.).

Гидросооружения водоснабжения и канализации (насосные станции, очистные сооружения и т.п.).

Гидромелиоративные, предназначенные для целей инженерных мелиораций (шлюзы–регуляторы, дренажные устройства и т.п.).

Гидросооружения рыбного хозяйства (рыбоходы, рыбоводные пруды и т.п.).

Гидротехнические сооружения, выполняющие защитные функции (от наводнений, селей, эрозии, оползней и т.п.).

Особую группу специальных гидротехнических сооружений составляют гидрологические расходомеры, т.е. устройства для измерения расходов воды на малых и средних водотоках.

По основному строительному материалу, используемому при создании гидросооружений, они подразделяются на сооружения:

а) из местных строительных материалов (земляные, деревянные, каменные);

б) из дальнепривозных материалов (бетонные, железобетонные, металлические).

Гидроузлы.

Широко практикуемое в нашей стране комплексное использование водных ресурсов приводит к тому, что перечисленные выше различные по водохозяйственному назначению гидротехнические сооружения обычно группируются в те или иные комплексы по несколько сооружений для совместного выполнения ряда водохозяйственных функций. Такие комплексы называются гидроузлами. [2, с. 10-11].

По величине напора гидроузлы делят на низконапорные (с напором 2-10 м), перегораживающие речные русла и поймы, средненапорные (с напором 10-40 м) и высоконапорные (с напором более 40 м), перегораживающие речные русла, поймы и долины.

Постоянные гидротехнические сооружения по значению и роли в гидроузлах разделяют на основные и второстепенные. К первым относятся сооружения, прекращение работы которых в случае аварии или капитального ремонта приводит к полной остановке или значительному снижению мощности гидроэлектростанции, пропускной способности водозаборов, водопроводящих сооружений, сокращению судоходства, лесосплава, водоснабжения. При строительстве к ним предъявляются повышенные требования.

Второстепенные – это сооружения, прекращение работы которых не приносит значительного ущерба водному хозяйству. К ним относятся подпорные и раздельные стенки, облицовки каналов и берегов, струенаправляющие дамбы, ледозащитные сооружения. [6, с. 25-26].

Если несколько гидроузлов совместно и взаимосвязанно решают комплекс водохозяйственных проблем на значительной территории, т.е. являются объединенными (географически, экономически, организационно) в общую систему или гидросистемы. Ярким примером гидросистемы может служить река Волга с расположенными в её бассейне крупными гидротехническими комплексами. [2, с.11]. (Схемы гидроузла представлены на рис. 1.1.1, 1.1.2)

1.2 Общая характеристика водохранилищ

Водохранилища и их отличия от других типов водоемов.

Из всего многообразия преобразующей деятельности человека как по своим масштабам, так и по значению в глобальных экологических системах планеты особо выделяются два процесса: освоение новых территорий для сельскохозяйственного производства, промышленного и гражданского строительства и преобразование речного звена гидросферы на огромных пространствах суши путем гидротехнического строительства.

Гидротехническое строительство осуществляется на всех континентах планеты. Наибольшее значение имеют различного рода мелиорации (осушение и орошение) и создание новых водных объектов – водохранилищ и каналов. Водохранилища – ключевые, базовые элементы гидротехнических и водохозяйственных систем любого ранга, поскольку именно они позволяют осуществить регулирование водных ресурсов, преобразование гидросферы в желаемом для общества направлении.

К внутренним водоемам относят озера, лиманы, водохранилища, пруды. Водохранилища и пруды – очень похожие объекты. Разница между ними в размерах, но имеют значение и менее очевидные признаки.

Водохранилищами следует считать искусственно созданные долинные, котловинные и естественные озерные водоемы с замедленным водообменом, полным объемом более 1 млн. куб. м, уровенный режим которых постоянно регулируется (контролируется) гидротехническими сооружениями в целях накопления и последующего использования запасов вод для удовлетворения хозяйственных и социальных потребностей.

Необходимо отметить, что использование водохранилищ связано не только с безвозвратным изъятием воды. Для рыбного хозяйства, рекреации, охлаждения агрегатов электростанций, поддержания гарантированных судоходных глубин в пределах водохранилища и т.п. нужна акватория и водная масса в целом, а не только полезный объем, т.е. ежегодно расходуемый запас воды (рис. 1.2.1, 1.2.2).

У водохранилищ нет природных аналогов. Лишь по форме чаши с ними сходны завально-запрудные озера. Здесь следует отметить наиболее важные особенности водохранилищ.

1. Водохранилища – антропогенные, управляемые человеком объекты, но они испытывают и сильнейшее воздействие природных (прежде всего гидрометеорологических) факторов, поэтому как объекты изучения, использования и управления занимают промежуточное положение между «чисто природными» и «чисто техническими» образованиями. Это дает им право именовать их природно-техническими системами.
2. Водохранилища заметно, а нередко и значительно воздействуют на окружающую среду, вызывая изменения природных и хозяйственных условий на прилегающих территориях. Естественно, что наряду с заранее запланированными благоприятными последствиями возникают также и последствия негативного, неблагоприятного характера.
3. Водохранилищам свойственна особая система так называемых внутриводоемных процессов – гидрологических, гидрофизико-химических и гидробиологических.
4. Водохранилища – водоемы, наиболее интенсивно используемые различными отраслями хозяйства. На каждом значительном водохранилище формируется водохозяйственный комплекс (ВХК). Среди компонентов ВХК, т.е. всех отраслей хозяйства, использующих водохранилище и реку в нижнем бьефе, выделяют отрасли, заинтересованные в создании водохранилища и финансирующие его. Остальные отрасли используют водохранилище, поскольку оно существует. Участники ВХК предъявляют различные, а подчас противоречивые требования к режиму использования водохранилищ.
5. Для водохранилищ как природно-хозяйственных объектов характерна чрезвычайно высокая динамичность развития (эволюции).

Рассмотрим кратко эти принципиальные особенности.

Водохранилища – управляемые объекты. Это означает, что основные параметры водохранилища (объем, площадь, место расположения и режим регулирования), а вместе с ними и многие другие характеристики определяются человеком на стадии проекта; в составе гидроузлов имеются специальные технические системы, сооружения, и устройства (гидротурбины, водосбросные отверстия с затворами), позволяющие менять объем и уровень воды в водохранилище. Главная особенность решений, связанных с эксплуатацией водохранилищ, - некоторая неопределенность, обусловленная стохастическим характером направленности и интенсивности гидрометеорологических процессов в водосборном бассейне.

Водохранилища следует рассматривать как природно-технические системы, комплексы, которые состоят из природной и технической подсистем, диалектически связанных между собой. Учет этого взаимодействия может существенно увеличить возможности рационального и комплексного использования водохранилищ, а игнорирование – привести к значительным потерям. Управляя технической подсистемой водохранилищ, человек может вызвать развитие таких процессов, явлений и эффектов в природной подсистеме, которые он пока не в состоянии предотвратить, либо их преодоление требует значительных затрат трудовых и материальных ресурсов. Поэтому управляемыми объектами водохранилища можно считать лишь частично. Непосредственно и полностью человек управляет только запасами воды, а экосистемой и геосистемой водохранилища – частично и косвенно.

При создании водохранилищ происходят многообразные изменения природных и хозяйственных условий на территориях, как непосредственно прилегающих к новому водоему, так и на удаленных от него вниз по течению реки. Масштабы, глубина и направленность этих изменений определяются размерами нового водоема (площадь, объем водной массы, длина, ширина) и своеобразием природных условий района, которые могут ослаблять или, наоборот, усиливать влияние водохранилища.

Когда говорят, что водохранилищам присуща особая система внутриводоемных процессов, имеют в виду, что свойственные им гидрологические, гидрофизико-химические и гидробиологические процессы не идентичны тем, которые наблюдаются в других водных объектах – озерах, реках и каналах. Ведущими факторами, определяющими специфику взаимосвязанных и взаимообусловленных внутриводоемных процессов в водохранилищах, служат водообмен и уровенный режим водоема. Один из показателей водообмена – период, в течение которого происходит полная смена водной массы: для водохранилищ разного типа он может составлять от нескольких суток до нескольких лет.

Амплитуда колебаний уровня воды в разных водохранилищах изменяется также в широких пределах – от нескольких десятков сантиметров для равнинных водохранилищ, до многих десятков и даже более 100 м для горных водохранилищ (рис. 1.2.3).

Именно эти факторы и отличают условия развития внутриводоемных процессов в водохранилищах от тех, которые характерны для озер и рек. Проявляется это в том, что в водохранилищах создаются активные гидродинамические зоны транзитного стока, т.е. направленного движения воды к плотине, и образуются зоны водоворотных циркуляций, когда частицы воды перемещаются по очень сложным замкнутым траекториям. Наличие такой сложной гидродинамической структуры определяет многие важные для водоемов особенности: формирование и движение водных масс; термический, газовый и биогенный режимы; перемещение и осаждение минеральных и органических взвесей; процессы самоочищения воды и, наконец, жизненно важные условия обитания бактерий, организмов, живущих в толще воды (планктон), донных организмов (бентос), водная растительность, рыб.

Процессы трансформации вещества и энергии в водохранилищах имеют иные, чем в озерах и реках, масштабы, направленность, интенсивность и длительность. Это выражается в показателях качества воды, в структуре и продуктивности водных систем. В целом водохранилища можно рассматривать как своеобразные огромные преобразователи и аккумуляторы вещества и энергии, но только не автономные, как, например, озера. Рекам же, в отличие от водоемов с замедленным водообменом, наоборот, свойственен поточный механизм преобразования вещества и энергии.

Этот накопительный эффект водохранилищ имеет как положительные (осветление воды, снижение ее цветности, уменьшение содержания вредных бактерий), так и отрицательное значение (уменьшение самоочищающей способности воды, образование застойных зон, больше, чем в реках, прогревание воды, особенно на мелководьях, и как следствие – евтрофирование новых водоемов). Характерные примеры евтрофирования водохранилищ: избыточное развитие сине-зеленых водорослей (цветение воды), чрезмерное продуцирование биомассы водной растительности (заболачивание акваторий).

Возрастающее экономическое значение водохранилищ выражается в формировании водохозяйственных комплексов – они оказываются вовлеченными в систему связей и отношений не только собственно водохозяйственных, но и социально-экономических, т. к. со временем и другие отрасли хозяйства оказываются заинтересованными в его использовании.

И, наконец, несколько слов еще об одной принципиальной особенности водохранилищ – высокой их динамичности как природно-хозяйственных объектов. Эта динамичность обусловлена тремя факторами:

1. изменчивостью гидрометеорологических процессов, определяющих гидрологический режим водоема;
2. стремительным изменением воздействия хозяйства на природную среду, в том числе и на водоемы;
3. изменениями по разным причинам режима эксплуатации водохранилищ.

Совокупное воздействие указанных факторов приводит к тому, что водохранилища крайне редко можно считать стационарными объектами, эволюцию которых легко и однозначно определить на основе прошлой предыстории. Поэтому если и говорится о каком-либо равновесном состоянии водохранилищ, то всегда подразумевается динамическое равновесие их как природно-хозяйственных объектов, которое может резко нарушится при изменении любого из указанных выше факторов. Динамичность водохранилищ проявляется во всех их характеристиках, но, пожалуй, наиболее ярко – в процессах формирования берегов, изменения качества воды, структуры и продуктивности водных и наземных (в береговой зоне) экосистем. В специальной литературе иногда даже употребляется термин «эволюция водохранилищ», однако если эволюция озер продолжается в течение многих сотен и тысяч лет, то в водохранилищах существенные изменения основных процессов и явлений происходят по крайне мере на порядок быстрее. Если в озерах изменение носит степенный и направленный («правильный») характер, то водохранилища развиваются циклически и скачкообразно в соответствии с соотношением изменений ведущих факторов. [7, с.9-13].

Классификация водохранилищ.

Более 30 тыс. водохранилищ земного шара, эксплуатируемых в настоящее время, существенно различаются между собой по параметрам, режимным характеристикам, направлению хозяйственного использования и воздействию на окружающую среду.

Для решения многих не только научных, но и практических вопросов проектирования, создания и использования водохранилищ особое значение приобретает упорядочение и систематизация колоссального объема разнообразных сведений и данных о водохранилищах. Необходимый начальный этап универсальной систематизации водохранилищ – разработка частных (по отдельным критериям, параметрам и признакам) классификаций и типизаций. Здесь следует охарактеризовать наиболее важную из них – типизацию по генезису.

Типизация по генезису. В основу типизации водохранилищ может быть положен, прежде всего, признак генезиса, указывающий на способ их образования. Естественные емкости, в которых аккумулируется вода, принято называть чашами водохранилищ (рис. 1.2.6). Используя этот признак, следует различать

* водохранилища в долинах рек, перегороженных плотинами, в том числе и на временных водотоках;
* наливные водохранилища;
* зарегулированные озера;
* водохранилища в местах выхода грунтовых вод и в карстовых районах;
* водохранилища прибрежных участков моря и эстуариев, отделенных от открытого моря дамбами. [7, с.18-19].

Типы, параметры и характеристики водохранилищ.

Водохранилища могут быть в виде крытых резервуаров, открытых бассейнов типа прудов-копаней, лиманов, и водоемов, образованных плотинами (плотинные водохранилища).

Крытые резервуары, открытые бассейны и лиманы обычно отличаются незначительным объемом и находят себе применение в водоснабжении и обводнении в качестве резервуаров суточного регулирования. Открытые бассейны, образованные обвалованием, используются также и для суточного регулирования на ГЭС.

Плотинные водохранилища (рис. 1.2.4) отличаются значительным объемом и позволяют осуществлять сезонное и многолетнее регулирование стоков. Они получили широкое распространение в практике водохозяйственного строительства.

Водохранилище плотинного типа имеет следующие элементы:

* плотина,
* водозаборные сооружения для изъятия необходимого количества воды,
* водосбросные устройства для сбросов излишков воды,
* устройства для промыва насосов при значительном количестве последних.

Кроме этого, плотинные водохранилища характеризуются величиной полезного объема, или так называемой сливной призмой, величиной мертвого объема (МО) и соответствующими характерными уровнями воды. [6, с. 316].

Главная цель создания водохранилищ – регулирование стока. Оно делается в основном в интересах энергетики, ирригации, водного транспорта, водоснабжения и в целях борьбы с наводнениями.

Для этого в водохранилищах аккумулируется сток в одни периоды года и отдается в другие периоды.

Период аккумуляции стока называется наполнением водохранилища, а процесс отдачи накопленной воды – сработкой водохранилища. Как наполнение водохранилища, так и его сработка производятся всегда до более или менее определенных уровней (рис. 1.2.5). Высший проектный уровень водохранилища (верхнего бьефа плотины), который подпорные сооружения могут поддерживать в нормальных эксплуатационных условиях в течение длительного времени, называется нормальным подпорным уровнем (НПУ). На нормальный подпорный уровень рассчитываются как сооружения инженерной защиты, так и все промышленные, транспортные, коммунальные и другие сооружения, располагающиеся на берегах водохранилища. Минимальный уровень водохранилища, до которого возможна его сработка в условиях нормальной эксплуатации, называется уровнем мертвого объема (УМО). Объем воды, заключенный между НПУ и УМО, называется полезным, так как именно этим объемом воды и можно распоряжаться в различных хозяйственных и других целях. Объем же воды, находящийся ниже УМО, называется мертвым, так как использование его в нормальных условиях эксплуатации не предусматривается.

Пропускная способность гидроузла (его турбин, водосливных пролетов, донных отверстий, шлюзов) по экономическим и реже техническим соображениям ограничена. Поэтому когда по водохранилищу идет расход редкой повторяемости (раз в сто, тысячу, а то и десять тысяч лет), гидроузел не в состоянии пропустить всю массу воды, идущую по реке. В этих случаях уровни воды на всем водохранилище и у плотины повышаются, увеличивая его объем иногда на значительную величину; одновременно увеличивается пропускная способность гидроузла. Такой подъем уровня выше НПУ в период прохождения высоких половодий редкой повторяемости называется форсированием уровня водохранилища, а сам уровень – форсированным подпорным (ФПУ), или уровнем катастрофического паводка. На водохранилищах, используемых для водного транспорта или лесосплава, сработка уровня в период навигации ограничивается уровнем, при котором речной флот по состоянию глубин может продолжать нормальную работу. Этот уровень, находящийся между НПУ и УМО, называется уровнем навигационной сработки (УНС). Уровни воды, в особенности при НПУ и ФПУ, у плотины, в средней и верхней зонах водохранилища не одинаковы. Если у плотины уровень соответствует отметке НПУ, то по мере удаления от нее он повышается вначале на сантиметры, а затем и на десятки сантиметров, а в отдельных случаях и на один-два метра. Это явление носит название кривой подпора. [7, с.13-15].

Для выполнения водохозяйственных расчетов требуется наличие топографической (кривая зависимости площадей зеркала водохранилища от его наполнения), объемной и экономической (изменение стоимости водохранилища с изменением глубины (наполнения)) характеристик водохранилища, составляемых после окончательного определения местоположения плотины. [6, с.317].

1.3 Взаимодействие плотины с рекой и речным руслом

Классификация плотин.

Плотины являются общими гидросооружениями, по целевому назначению относятся водоподпорным сооружениям и являются среди них наиболее важными.

Водоподпорным называется сооружение, удерживающее с одной стороны воду на более высоком уровне, чем с другой. Как отмечалось выше, часть водного объекта по ту сторону водоподпорного сооружения, где имеется более высокий уровень воды, называется верхним (подпёртым) бьефом, а по другую сторону – нижним бьефом. Разность уровней верхнего и нижнего бьефов называется напором на сооружении. Плотиной называется водоподпорное сооружение, перегораживающее русло или долину реки. Водоподпорные сооружения же, устраиваемые по берегам рек для защиты земель от затопления, носят название дамб или валов.

К подпорным сооружениям относятся также ряд специальных сооружений, например, судоходные шлюзы и шлюзы-регуляторы на оросительных и осушительных системах, плотоходы и некоторые другие.

Плотины принято классифицировать по нескольким признакам.

По цели устройства. Различают две основные цели устройства плотины: а) поднятие уровня воды в реке на некоторую высоту и регулирование этого уровня, что достигается строительством водоподпорной плотины; б) создание хранилища воды, что достигается строительством водохранилищной плотины. Во многих случаях одну и ту же плотину устраивают и для поднятия уровней воды в реке, и для образования водохранилища. Такая плотина будет и водоподъёмной, и водохранилищной.

По возможности пропуска воды. В зависимости от пропуска воды через створ плотины различают: глухие плотины и водосбросные плотины.

По основному материалу: из грунтовых строительных материалов, бетонные плотины, железобетонные плотины, деревянные плотины, плотины из прочных материалов (стали, синтетической плёнки и т. д.) и комбинированные.

По высоте создаваемого напора. Принято выделять низконапорные плотины с напором менее 25 м, средненапорные – с напором от 25 до 75 м и высоконапорные – с напором более 75 м.

По характеру основания. Различают плотины, построенные на мягких грунтах (проницаемых, нескальных) и на скальных грунтах (от вида грунта основания зависит характер фильтрации воды под плотиной). [2, с. 16-18].

Действие речного потока на плотину.

Кроме тех видов воздействия, которые вода оказывает на любое гидросооружение (см. п. 1.1), плотины испытывают со стороны водного потока ряд дополнительных действий, последствия которых учитываются в конструкциях рассматриваемых сооружений.

В верхнем бьефе у плотины поток имеет обычно скорости течения меньше, чем они были до создания подпора. Однако на подходе к водосбросным отверстиям местные скорости возрастают и при известном их значении возможны размывы русла, способные привести к нарушению устойчивости плотины (рис. 1.3.1). Для защиты русла от размыва перед плотиной устанавливается специальное покрытие, носящее название понур. Другое назначение понура – борьба с фильтрацией воды под сооружением.

В пределах плотины вода движется с очень большими скоростями (иногда более 20 м/с), оказывая на сооружение динамическое воздействие ввиду возникающих пульсаций потока, местных сопротивлений и пр. Сведение этих воздействий до возможного минимума достигается путем подбора плавных форм тех поверхностей сооружения, по которым движется поток.

В нижнем бьефе за плотиной значительная кинетическая энергия потока, пропорциональная расходу воды и квадрату скорости, неизбежно разрушает русло, вызывает глубокие размывы даже скального грунта дна реки, что будет угрожать целости плотины. Поэтому принимаются меры гашения избыточной кинетической энергии и защиты русла от разрушения специальными покрытиями.

Для этого непосредственно за водосливом укладывают массивную плиту, называемую водобоем. На нем теряется основная часть кинетической энергии путем образования вальцов при сопряжении потока с водой нижнего бьефа, а также благодаря расщеплению потока на отдельные струи и взаимному перемешиванию струй, для чего на водобое часто устраивают специальные выступы, пороги, стенки. За водобоем следует обычно гибкое, проницаемое для воды покрытие, называемое рисбермой, на которой скорости потока доводятся до величин, не опасных для грунта русла (рис. 1.3.2). [2, с. 18-21].

Заиление водохранилищ. Влекомые и взвешенные наносы, попадая в водохранилище, вследствие малых скоростей течения в нем начинают осаждаться и откладываться на дне. При осаждении более крупные наносы откладываются в верхней (хвостовой) части водохранилища, более мелкие сносятся ниже и самые мелкие, взвешенные, разносятся течением по всей части водохранилища. При сработке водохранилища наносы, отложившиеся в его хвостовой части, постепенно смываются вниз и более равномерно распределяются по всей чаше. Смыв наносов прекращается ниже уровней мертвого объема, и поэтому последний постепенно и непрерывно заполняются наносами. Наносы, остающиеся в водохранилище во взвешенном состоянии, частично удаляются через водозаборные и водосбросные сооружения вместе с водой. При заполнении мертвого объема дальнейшее отложение наносов приводит к уменьшению полезного объема водохранилища и нарушению его работы. Расчет заиления водохранилищ и определения срока их службы является одним из основных и еще недостаточно разработанных вопросов гидрологии [6, с.320].

Действие плотины на речной поток.

Плотины, образующие водохранилища, особенно крупные, приводят к коренным преобразованиям водного режима, увлажненности и микроклимата, прилегающих к ним территорий, вызывая изменение их флоры и фауны. Остановимся на основных изменениях, происходящих выше и ниже плотины в реке и речном русле.

Подпор, созданный плотиной, распространяется на значительные расстояния, вызывая увеличение глубин в реке и уменьшение скорости течения, что приводит к разнообразным последствиям. Так, повышаются уровни грунтовых вод в речных поймах, долинах и в прибрежной зоне водохранилищ. Это явление в большинстве случаев отрицательно сказывается на окружающей среде, так как сопровождается заболачиванием территории, выпадением лесов по берегам водохранилищ в северных районах, засолением почв в южных районах, всплытием торфяников и др. (рис. 1.3.3).

В связи с уменьшением по мере приближения к плотине скорости течения потока в водохранилище происходит выпадение из воды наносов, которые сортируются по крупности сообразно со скоростями течения, т.е. с постепенным уменьшением крупности по направлению к плотине.

Помимо наносов, приносимых рекой, твердый материал поступает в водохранилище за счет обрушений берегов вследствие размывающего действия волн, вследствие оползней, осыпей и обвалов крутых берегов. Все эти процессы приводят к так называемому переформированию берегов водохранилищ и образованию пологих «пляжей» в прибрежной зоне.

В связи с отложением наносов емкость водохранилища уменьшается, причем темпы такого уменьшения зависят от количества наносов, от емкости водохранилища, условий работы последнего и других факторов. Отмечаются случаи, когда построенное водохранилище заиляется за относительно короткий срок – за несколько лет; например, подпорный бьеф Земо-Авчальской ГЭС на реке Куре в течение 5 лет был заилен на 60 %, Штеровское водохранилище на реке Миус (Донбасс) за такой же период на 85%. Вместе с тем в литературе приводятся также примеры водохранилищ, которые почти не заиляются; к ним относится водохранилище одной из высочайших в мире плотин Боулдер (на р. Колорадо), которое в соответствии с проведенными расчетами должно заполниться илом только через 445 лет.

Откладывающиеся наносы не только уменьшают полезную емкость водохранилища и создают в хвостовой его части затруднения для судоходства, но и приводят к постепенному подъему уровня воды в верхнем бьефе, а также более дальнему от плотины распространению кривой подпора, что вызывает увеличение затоплений земель. В частности, в зоне примерного подпора может оказаться гидрологический (водомерный) пост, который до строительства плотины и наполнения водой водохранилища находился на свободном участке реки.

Поэтому при проектировании и эксплуатации водохранилищ на реках с повышенным содержанием наносов приходится интересоваться вопросами заиления водохранилищ, а в ряде случаев намечать соответствующие меры по борьбе с этим явлением.

Если ситуация такова, что насыщенность водного потока наносам значительно уменьшается за счет осаждения их в зоне водохранилища, то тогда в нижний бьеф водоподпорного сооружения поступает осветленная вода. В результате устойчивость русла в нижнем бьефе, установившаяся в предшествующий строительству плотины период, нарушается, так как поток начинает интенсивно размывать русло и насыщаться наносами в соответствии со своей «транспортирующей способностью». При этом дно русла нижнего бьефа будет несколько понижаться, иногда на значительное расстояние от плотины (десятки и даже сотни километров). Снижение дна русла в нижнем бьефе может вызвать:

а) нарушение устойчивости мостовых опор;

б) понижение уровня грунтовых вод в берегах, что сопровождается, в частности, обсыханием колодцев;

в) ухудшение работы ранее построенных водозаборов.

После строительства плотины существенно меняется и ледово-термический режим на участке реки, оказавшейся в зоне распространения подпора. В верхнем бьефе вследствие резкого замедления скоростей течения быстрее наступает ледостав, ледяной покров достигает большей толщины, чем имел место до строительства сооружения, затягиваются сроки вскрытия, что отрицательно сказывается на условиях судоходства и даже может оказать влияние на микроклимат прилегающей территории.

Накопление больших объемов воды способствует аккумуляции в водохранилищах дополнительного тепла (впрочем, мало влияющего на ледовый режим верхнего бьефа). Это тепло, поступая с водой в нижний бьеф, вместе с высокими скоростями потока зимой замедляет формирование за плотиной ледяного покрова, приводя к образованию полыней. Последние при определенных метеорологических условиях являются «фабриками шуги». Шуга же, перемещаясь водным потоком в больших количествах на нижележащие участки реки, где установился ледяной покров, способствует образованию зажоров, приводящих к зимним наводнениям и образованию обширных наледей, иногда приносящих значительный ущерб народному хозяйству (выход из строя дорог, мостов и линий связи и т.п.). [1, с. 21-23].

Фильтрация воды под плотиной. Причины и последствия.

Основания плотин – различные горные породы – обычно в той или иной степени проницаемы для воды (в том числе и скальные). [2, с. 21-23]. Это происходит вследствие пористости грунтов, слагающих основание плотин, берега рек, поймы и речные долины - вода из верхнего бьефа под действием напора фильтрует в основание плотины и в берега в обход её. [2, с.317]. Естественно, что после поднятия плотиной уровня воды в реке основание сооружения насыщается водой, которая движется по порам и трещинам из зоны большего давления в зону меньшего давления, т. е. из верхнего бьефа в нижний бьеф. Это движение называется фильтрационным или фильтрацией воды.

Область фильтрации под напорным гидротехническим сооружением ограничивается сверху поверхностями сооружения, которыми оно соприкасается с грунтом основания и берегов, а снизу – кровлей водоупора (иногда водоупор отсутствует на практически достижимой глубине). Входной поверхностью фильтрационного потока является дно верхнего бьефа, выходной – дно нижнего бьефа и проницаемые для воды части сооружения (рисберма, дренажные устройства и пр.).

Фильтрация воды под сооружением является напорной, т. к. свободная поверхность фильтрационного потока отсутствует. Линия контакта сооружения с грунтом основания по направлению продольной оси потока называется подземным или фильтрационным контуром, который обычно представляет собой ломаную линию (на рис. 1.3.2 линия ABCDEFGKL).

Фильтрация воды под напорными гидротехническими сооружениями имеет следующие последствия:

1. происходит потеря (утечка) воды из водохранилища в нижний бьеф;
2. фильтрующаяся вода оказывает гидростатическое давление на подошву сооружения, направленное снизу вверх и называемое обычно противодавлением ввиду направленности его противоположно силе тяжести. Противодавление как бы облегчает сооружение, уменьшает его вес и сопротивление сдвигающим сооружение горизонтальным силам;
3. фильтрующаяся вода может механически и химически действовать на грунт, слагающий основание сооружения, увлекая за собой мелкие частицы, а соли растворяя и унося их в нижний бьеф. В первом случае процесс называется механической суффозией грунта, а во втором – химической суффозией. Начавшаяся суффозия делает грунт основания проницаемым для воды, скорости фильтрации возрастают, фильтрующийся поток оказывается способным выносить частицы большего размера и при дальнейшем развитии явления может закончиться разрушением основания и аварией сооружения.

Таким образом, борьба с последствиями фильтрации конкретно направлена на сокращение потерь воды из верхнего бьефа, на уменьшение противодавления, на снижение скоростей фильтрационного потока.

Априори можно утверждать, что при одном и том же напоре на плотине фильтрация под сооружением и её последствия будут тем меньше, чем больше путь фильтрации, т.е. длина фильтрационного контура.

Удлинение путей фильтрации создаётся устройством перед плотиной водонепроницаемого покрытия, называемого понуром, а под понуром и сооружением - вертикальных преград в виде шпунтовых стенок в мягких грунтах, либо в виде цементных, битумных и других завес в скальных основаниях.

Аналогичный процесс фильтрации совершается и в берегах русла или долинах, к которым примыкает подпорное сооружение. Борьба с этим явлением также ведётся в основном удлинением путей фильтрации.

Для обоснованного определения размеров противофильтрационных элементов плотины и полного учёта стока в створе гидроузла необходимо уметь рассчитывать значения основных параметров фильтрационного потока: его скорости, расходы и противодавления. [1, с. 23-24].

Бетонные и железобетонные плотины.

Плотины по конструктивным признаками и условиям статической работы различают:

* гравитационные массивные (рис. 1.3.4 а), т.е. плотины, устойчивость которых обеспечивается их собственным весом – горизонтальному сдвигающему гидростатическому давлению воды в данном случае противостоит сила трения (а иногда и сила сцепления), действующая по подошве плотины, которая зависит от веса плотины и коэффициента трения тела плотины по основанию;
* контрфорсные (рис. 1.3.4 б), устойчивость которых обеспечивается не только весом самой плотины, но и весом воды в объеме призмы АВС; эти плотины имеют большой уклон верховой грани со стороны верхнего бьефа;
* арочные (рис. 1.3.4 в), работающие как свод, «положенный на бок» и упирающийся своими пятами в берега;
* гравитационные облегченные, т.е. такие плотины, в которых предпринят ряд конструктивных мер с целью экономии дорогостоящего бетона, разумеется при сохранении необходимой устойчивости сооружения.

Среди наиболее известных бетонных гравитационных плотин на скальном основании следует назвать плотины:

* Гранд-Диксанс на р. Диксанс (наибольшая высота – 281 м, Швейцария),
* Гувер (Боулдер) на р. Колорадо (наибольшая высота – 222 м, США),
* Шаста на р. Сакраменто (наибольшая высота – 184 м, США),
* Братская на р. Ангаре (наибольшая высота – 124 м, Россия),
* Элефант Бьют на р. Рио-Гранд (наибольшая высота – 94 м, США) и др.

Плотины из грунтовых материалов.

К грунтовым материалам относятся:

* нескальные грунты (глинистые, песчаные, крупнообломочные);
* естественный камень, получаемый путем разработки скального грунта.

Плотины из грунтовых материалов почти всегда бывают глухими: перелив воды через их гребень допускается только как исключение для плотин малой высоты (при условии принятия соответствующих мер).

Плотины из грунтовых материалов оказываются весьма экономичными конструкциями, если вблизи места строительства имеется соответствующий грунт или камень. Существенным положительным качеством рассматриваемого типа плотин является их долговечность, простота конструкции и производства работ по их осуществлению, в связи с чем для сооружения таких плотин не требуется, в частности, большого количества квалифицированной рабочей силы.

Земляные плотины, являясь древнейшим типом плотин, и в настоящее время имеют самое широкое распространение. Эти плотины можно троить практически на всех основаниях, что является их крупнейшим преимуществом. Среди наиболее известных земляных плотин следует назвать:

* Андерсон Рэнч (наибольшая высота – 139 м, США),
* Плотина ГАЭС (наибольшая высота – 125 м, Люксембург),
* Сер-Понсон (наибольшая высота – 122 м, Франция),
* Барири (наибольшая высота – 112 м, Бразилия) и др.

По способам постройки земляные плотины делятся на насыпные, возводимые путем отсыпки грунта в тело плотины (насухо или в непроточную воду) и намывные, возводимые средствами гидромеханизации земляных работ.

Способ постройки плотины существенно влияет на ее конструктивные особенности.

Земляные насыпные плотины по конструктивным признакам принято разделять на следующие основные типы (рис. 1.3.5):

* плотины из однородного грунта, т.е. выполненные из одного вида слабоводопроницаемого грунта (рис. 1.3.5 а);
* плотины из неоднородного грунта, т.е. выполненные из разных грунтов; часто отдельные грунты в теле плотины располагают так, чтобы водопроницаемость плотины увеличивалась по направлению от верхнего бьефа к нижнему (рис. 1.3.5 б), иногда же наиболее водонепроницаемый грунт помещают в центральной части профиля плотины (рис. 1.3.5 в);
* плотины с наружной (верховой) маловодопроницаемой или водонепроницаемой противофильтрационной преградой в виде экрана, выполненного из маловодопроницаемого грунта (рис. 1.3.5 г, е), асфальтобетона, полиэтиленовой пленки и т.п. (рис. 1.3.5 д);
* плотины с внутренней (центральной) маловодопроницаемой или водонепроницаемой преградой в виде ядра, образованного маловодопроницаемым грунтом (рис. 1.3.5 ж), или диафрагмы (рис. 1.3.5 з) из негрунтовых материалов – бетона, железобетона, асфальтобетона, полиэтиленовой пленки, металла и т.п.

Деревянные плотины.

Деревянными плотинами называются такие, в которых нагрузка от воды и других факторов воспринимается в основном деревянными конструкциями, а устойчивость против сдвига обеспечивается закреплением деревянных частей в основании, нагрузкой их балластом в виде земли, камня и другими средствами.

Деревянные плотины, как правило, устраивают водопропускными (водосливными); глухие деревянные плотины применяются очень редко, так как они оказываются даже в лесистых местностях дороже глухих земляных или каменно-набросных плотин. Рассматриваемые плотины сооружаются:

* главным образом в целях улучшения лесосплава на небольших лесосплавильных реках;
* иногда в связи с устройством небольших ГЭС или тех или других интересах сельского хозяйства.

Основной породой дерева в плотиностроении является сосна как наиболее распространенная и стойкая в условиях переменной влажности.

Положительными качествами древесного строительного материала, содействовавшими широкому применению его в плотиностроении, являются: легкость обработки и простота конструкции, упругость, малая чувствительность к колебаниям температуры, хорошая сопротивляемость размывающему действию воды, сравнительная дешевизна.

Недостатком дерева являются: деформативность древесины (усушка, коробление и снижение ее прочности под влиянием влажности); трудность конструирования элементов, работающих на растяжение; сгораемость; подверженность гниению и разрушению вредителями. Последнее обстоятельство наиболее важно, так как до 10-15 лет сокращает срок надежной службы сооружения, хотя при своевременном ремонте верхних частей плотины срок этот может быть доведен до 25 лет и более. В целях борьбы с гниением дерево в соответствующих местах конструкции пропитывается антисептиками.

Плотины из прочих строительных материалов.

Особое место занимают небольшие плотины временного типа, выполняемые или из подручного материала или разборчатые.

К числу первых, в частности, относятся плотины из хвороста, устраиваемые до напоров 2-3 м; плотины, выполняемые из свежесрубленных деревьев с ветвями и листвой (высотой до 5,0 м); габионные плотины, образованные из проволочных (сетчатых) «ящиков», заполненных камнем, называемых габионами (высота достигает 5 метров и более).

Разборчатые плотины используются для производства ремонтных работ на шлюзах, в доках и для создания на небольших водотоках сезонных водохранилищ с целью удовлетворения разнообразных потребностей сельского хозяйства. Раньше такие плотины применялись и для улучшения судоходных условий на реках. [2, с. 23-24].

1.4 Опасность прорыва и затопления

Опасность прорыва плотин.

Создание водохранилищ с площадью водного зеркала более 100 кв. км началось после 1915 г. и стало возможным в результате изменений в технологии земляных и бетонных работ, позволивших возводить крупные и сравнительно дешевые сооружения. Но бум гидротехнического строительства приходится на последние 30-40 лет, когда было построено более 85 % всех существующих в мире плотин. Водохранилища стали неотъемлемой чертой ландшафта многих стран мира, важным элементом их национальной экономики.

Всего в мире построено более 100 тыс. подпорных гидротехнических сооружений, а общая площадь водохранилищ превосходит акваторию десяти Азовских морей. В настоящее время общий объем водохранилищ на Земле составляет 6500 куб. км, что в три раза больше объема пресной воды всех рек.

Конец нашего столетия характеризуется значительными темпами освоения гидроэнергоресурсов и переходом от строительства преимущественно крупных водохранилищ энергетического значения к средним и даже малым. Сегодня не так уж много рек, на которых не было бы хоть одного водохранилища. В России построено и находится в эксплуатации свыше 3 тыс. водохранилищ.

Подпорные гидротехнические сооружения доказали свою надежность и долговечность – многие из них функционируют десятки и даже сотни лет. Особенно надежны в эксплуатации гидросооружения, построенные в последние годы. Однако материалы мировой статистики и события недавних лет свидетельствуют о том, что аварии на гидроузлах возможны, они могут привести к повреждению и разрушению плотин и примыкающих к ним сооружений.

По данным Комитета по авариям и разрушениям Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ), ежегодно в мире происходит более 3 тыс. аварий, нередко с большим материальным ущербом и человеческими жертвами.

Наиболее надежны бетонные плотины. Им примерно в 3 раза уступают каменно-земляные и арочные. Из 55 высоких бетонных плотин, сооруженных на территории бывшего СССР после 1926 г., 7 гидроузлов являются особо крупными, а 41 водохранилище имеет объем более 1 куб. км. Большая часть их функционирует 20-30 лет и более. Это значит, что они входят в период «старения» и нуждаются в особом внимании.

В последнее столетие в мире произошло более 1 тыс. случаев разрушения гидротехнических сооружений. Причинами были факторы не только природного, но и антропогенного характера. К первым относятся экстремальный сток, ледовые явления, нагоны, опасные метеорологические явления (бури, ураганы, ливни, снегопады, смерчи), изменения климата, землетрясения, цунами, оползни, обвалы, снежные лавины и сели, подвижки ледников, вулканические извержения.

Так, при подвижках ледников и перекрытии ими рек и ручьев образуются ледниково-подпрудные озера, которые затем изливаются, формируя мощные волны прорыва. Такое неоднократно происходило в районе ледника Федченко (сток воды увеличился в 10 и более раз, формируя катастрофические наводнения).

Прорыв горного Саргазонского водохранилища объемом 2,7 млн. куб. м и высотой плотины в 23 м в Таджикистане в 1987 г. явился причиной гибели 32 человек и нанес большой материальный ущерб.

Из «обвальных» озер наиболее известно Сарезское на Памире, возникшее в 1911г. вследствие землетрясения 9 баллов. Состояние естественной запруды этого озера, особенно в последние годы, вызывает большие опасения.

Антропогенный фактор заключается, главным образом, в недостаточном гидрологическом и инженерно-геологическом обосновании проектов. К аварии могут привести занижение возможных экстремальных расходов воды и размеров водосбросов, неправильный выбор места и неверная оценка условий для сооружения оснований плотин. Другие причины – износ оборудования, организационно-технические неполадки, некомпетентность и даже халатность эксплуатационного персонала. Достаточно вспомнить аварию 7 августа 1994 г. на плотине Тирлянского водохранилища в бассейне реки Белой в Башкортостане, когда после интенсивных дождей из-за изношенности механизмов не удалось открыть все отверстия берегового водосброса (работало только одно) и вода из переполненного водохранилища устремилась через гребень земляной плотины, которую разрушило в течение нескольких часов (семиметровая волна прорыва снесла пос. Тирлян, погибли 28 человек).

Кроме аварии на реке Белой прорывы плотин, сопровождающиеся человеческими жертвами, огромным материальным ущербом, произошли за последние годы в Свердловской (Кисилевское водохранилище), Калужской (Людовинское водохранилище), Ростовской и Волгоградской областях, в Калмыкии (многочисленные прорывы плотин прудов), на шлюзе Камского гидроузла.

Угроза прорыва плотин возросла также из-за ликвидации некоторых органов управления водным хозяйством, передачи ряда гидротехнических объектов различным собственникам.

Обследование водохранилищ и прудов-накопителей отходов, проведенное совместно с Министерством по чрезвычайным ситуациям в трех областях России, показало, что 12 % водохранилищ и 20 % прудов-накопителей отходов находятся в аварийном или предаварийном состоянии.

Гидротехнические сооружения, как правило, располагаются в черте или выше крупных населенных пунктов, и в случае аварии представляют большую опасность для населения и хозяйственных объектов. Так, в случае прорыва плотины в г. Пензе в зоне затопления может оказаться 75 тыс. человек, в г. Челябинск – 170 тыс. человек, а в случае прорыва плотины Волжского каскада – несколько миллионов человек. Между тем, сохраняется тенденция застройки нижних бьефов плотин в зонах возможного затопления.

Тревожная ситуация сложилась в 1998 г. в ряде регионов России. Небывалым оказалось весеннее наводнение в Краснодарском крае, причинами которого явились не только повышенные зимние осадки и раннее снеготаяние, но и бесконтрольное, без соответствующего инженерного обоснования массовое сооружение небольших прудов, плотин, запруд. Все эти емкости не были «сработаны» к весне новыми хозяевами с тем, чтобы задержать часть паводочных вод.

Опасными были половодья на Северной Двине, Мезени, Печоре, Урале, реках Волжского бассейна, Кольского полуострова. А города Великий Устюг, Ленск, Якутск в мае 1998 г. затопило почти полностью. [1, c. 1-3].

Возросшая опасность повреждения и разрушения хозяйственных объектов, в том числе гидротехнических сооружений, вследствие воздействия стихийных и антропогенных факторов заставила человеческое сообщество обратить особое внимание на проблему их безопасности и объединить усилия в деле защиты от стихийных и других бедствий.

В 1987 г. Генеральная ассамблея ООН объявила о проведении международного десятилетия по уменьшению опасности стихийных бедствий. При этом особое внимание уделяется проблеме безопасности плотин. Этим вопросам были посвящены два Конгресса Международной Комиссии по большим плотинам, а в сентябре 1992 г. Комиссия организовала симпозиум «Плотины и экстремальные паводки», уделивший проблеме изучения причин прорыва больших плотин серьезное внимание. [8, с. 67-68].

Ликвидация последствий повреждения подпорных гидротехнических сооружений требует больших материальных затрат и времени. Но невосполнимы людские потери и опасны морально-психологические травмы. Поэтому усилия должны быть направлены на предвидение, предупреждение и прогноз последствий возможных аварийных ситуаций на гидроузлах. [9, с. 36-37]

Использование гидротехнических сооружений в ходе военных действий.

В 1938 г. во время войны с Китаем японские войска захватили столицу провинции Хэнань – г. Кайфын и были готовы к дальнейшему наступлению. Тогда китайцы разрушили одну из дамб, сооруженных на крупнейшей в стране реке Хуанхэ. Вода устремилась по старому руслу на юго-восток и быстро затопила обширную территорию, нанеся большой урон врагу. При этом, правда, погибли и 16 млн. своих же китайцев.

В 1944 г. немецкие самолеты уничтожили в Голландии дамбы, ограждавшие сушу от моря. В результате значительная часть территории этой страны оказалась затопленной морскими водами.

Еще один пример. Во время войны с Ираном Ирак начал сооружать дамбу и канал для перехвата воды из иранской реки с целью устранить мешающую военным действиям водную преграду. При этом преследовалась также цель обезводить один из районов Ирана с засушливым климатом и использовать воды реки для орошения земель в Ираке.

В ходе военных действий или террористического акта «искусственное» наводнение может быть вызвано и преднамеренным характером попуска вод. Такой прием был использован финнами на Карельском перешейке в советско-финляндскую войну, затопившими местность и превратившими ее в труднопреодолимую полосу для наступающих войск Красной армии. В Великую Отечественную войну и наши войска при обороне Москвы зимой 1941 г. затопили местность водами из Истринского водохранилища.

Крупные гидроузлы во время военных действий в стратегических целях разрушались специально. Наиболее известный пример – разрушение Днепрогэса.

В последние годы угрозу нормальному функционированию гидроузлов создают военные действия и террористические акты в зонах этно-социальных конфликтов. Например, существовала реальная опасность разрушения Дубоссарской ГЭС в период конфликта в Приднестровье, когда во время ракетно-артиллерийского обстрела была повреждена турбина ГЭС и создалась угроза затопления 60 населенных пунктов левобережья Днестра. Известна также попытка захвата оппозиционными силами Нурекской ГЭС в Таджикистане.

Сооружение гидротехнических объектов на реках может воздействовать на изменение направления, скорости течения и привести к изменению береговой линии или фарватера, который обычно является пограничной линией, разделяющей соседние государства. Изменение фарватера в ту или иную сторону вызывает искусственную подвижку границы, что имело место на некоторых рукавах Амура на границе России с Китаем. Известна также «война дамб» между Китаем и Вьетнамом на пограничной реке Думно, приведшая в 1979 г. к вооруженному конфликту. [1, c. 3].

Затопления местности, вызванные авариями на гидротехнических сооружениях.

К основным гидротехническим сооружениям, разрушение которых приводит к гидродинамическим авариям, относятся плотины, водозаборные и водосборные сооружения (шлюзы). Катастрофическое затопление, являющееся следствием гидродинамической аварии, заключается в стремительном затоплении местности волной прорыва. Масштабы последствий гидродинамических аварий зависят от параметров и технического состояния гидроузла, характера и степени разрушения плотины, объемов запасов воды в водохранилище, характеристик волны прорыва и катастрофического наводнения, рельефа местности, сезона и времени суток происшествия и многих других факторов. Особенно большие потери населению и значительный ущерб народному хозяйству может быть причинен при каскадном расположении гидроузлов, так как в результате разрушения вышележащего гидроузла образующаяся волна будет приводить к разрушению плотин гидроузлов, расположенных ниже по течению реки.

Прорыв гидротехнических сооружений может произойти из-за воздействия сил природы (землетрясения, урагана, обвала, оползня и т.п.), конструктивных дефектов, нарушения правил эксплуатации, воздействия паводков, разрушения основания плотины и т.д., а в военное время – как результат воздействия по ним средств поражения.

Однако, как правило, такие наводнения возникают из-за несвоевременного опорожнения малых водохранилищ, неготовности водоприемников, захламления русел, особенно у мостовых переходов. Из 300 аварий плотин в различных странах за период с 1902 г. по 1977 г. в 35 % случаев причиной аварии было превышение расчетного максимального сбросного расхода, т.е. перелив воды через гребень плотины. Образующаяся при этом волна имеет большую высоту и скорость движения. Для равнинных районов скорость такой волны колеблется в пределах 3..25 км/ч, а для горных и предгорных районов достигает величины порядка 100 км/ч.

Этот тип наводнений близок по своему характеру к наводнениям, вызванным выходом рек из своих берегов из-за продолжительных и сильных дождей (паводкам). Отличия заключаются в большей скорости распространения наводнения, а следовательно более сжатых сроках затопления территорий и внезапности, что влечет за собой разрушение мостов, дорог, зданий, а также гибель людей и скота.

Плотины и дамбы являются гидротехническими сооружениями напорного фронта, создающими разницу уровней воды.

В зависимости от времени опорожнения водохранилищ различают два вида речного стока: волну попуска (образуется при медленном опорожнении водохранилища) и волну прорыва (образуется при быстром или мгновенном опорожнении водохранилища).

Гидротехнические сооружения напорного фронта являются гидродинамически опасными объектами (ГОО).

При прорыве ГОО образуется проран, через который происходит излив воды из верхнего бьефа в нижний и образование волны прорыва. Волна прорыва – основной поражающий фактор этого вида аварий. Воздействие волны прорыва на объекты подобно воздействию воздушной ударной волны взрыва, но отличается от него тем, что действующим телом в этом случае является вода.

Основными поражающими факторами катастрофического затопления являются: волна прорыва (высота волны, скорость движения) и длительность затопления.

Волна прорыва – волна, образующаяся во фронте устремляющегося в пролом потока воды, имеющая, как правило, значительную высоту гребня и скорость движения и обладающая большой разрушительной силой.

Волна прорыва, с гидравлической точки зрения, является волной перемещения, которая, в отличие от ветровых волн, возникающих на поверхностях больших водоемов, обладает способностью переносить в направлении своего движения значительные массы воды. Поэтому волну прорыва следует рассматривать как определенную массу воды, движущуюся вниз по реке и непрерывно изменяющую свою форму, размеры и скорость.

Продольный разрез такой сформировавшейся волны показан на рис. 1.4.1.

h - бытовой уровень воды в реке; HB - высота волны; Н - высота потока

Рис. 1.4.1. Схематический продольный разрез волны прорыва

Волна прорыва (попуска) по своей физической сущности представляет собой неустановившееся движение потока воды, который, как уже было сказано выше, в своем движении вдоль русла реки непрерывно изменяет высоту, скорость движения, ширину и другие параметры (см. рис. 1.4.2). Она имеет фазы подъема уровня воды и последующего спада уровня. Фаза интенсивного подъема уровня воды называется фронтом волны прорыва. Фронт волны прорыва может быть крутым при перемещении волны прорыва по участкам русла, близким к разрушенному ГОО, и относительно пологим – на значительном удалении от него.

Вслед за фронтом волны прорыва высота ее начинает интенсивно возрастать, достигая через некоторый промежуток времени максимума, называемого гребнем волны прорыва, который движется, как правило, медленнее ее фронта. В результате подъема волны происходит затопление поймы и прибрежных участков местности.

Площадь и глубина затопления зависят от параметров волны прорыва и топографических условий местности. После прекращения подъема наступает более или менее длительный период движения потока, близкий к установившемуся. Этот период тем длительнее, чем больше объем водохранилища. Последней фазой образования зоны затопления является спад уровней воды. Хвост волны (конец волны) двигается еще медленнее, чем ее гребень.

Вследствие различия скоростей трех характерных точек (фронта, гребня и хвоста) волна постепенно «распластывается» по длине реки, уменьшая свою высоту и увеличивая длительность прохождения в очередном створе.

После прохождения волны прорыва русло реки обычно сильно деформируется вследствие большой скорости течения воды в волне прорыва.

Разрушительное действие волны прорыва является результатом резкого изменения уровня воды в нижнем и верхнем бьефах при разрушении напорного фронта и образования потока, перемещающегося с большой скоростью, изменения под его воздействием прочностных характеристик грунта.

Основные оценочные параметры волны прорыва (попуска):

* максимальная в данном створе высота волны Нв и глубина потока Н=Нв + hб (hб – глубина реки до прохождения волны или бытовая глубина);
* скорость движения Сфр, Сгр, Схв и времена добегания tфр, tгр, tхв характерных точек волны прорыва до различных створов, расположенных ниже гидроузла;
* длительность прохождения волны Тв в выделенных створах, равную сумме времени подъема Тпод и спада Тсп уровня воды в них;
* средние Vср и поверхностные Vпов скорости течения в различных створах;
* наибольшая ширина В затопления речной долины.

Масштабы чрезвычайных ситуаций при аварии на ГОО, сопровождающиеся образованием волны прорыва, зависят от типа и класса гидротехнического сооружения напорного фронта, от вида аварии (главным образом от размеров прорана), от параметров водохранилища и плотины (дамбы), от характеристик русла в нижнем бьефе, а также от топографических и гидрографических условий местности, подвергаемой затоплению. Поэтому прогнозирование возможного масштаба такой чрезвычайной ситуации должно осуществляться еще на стадии проектирования ГОО.

Так, например, от прорыва плотины Череповецкой ГЭС на реке Шексне (Вологодская область) возможно образование трех зон катастрофического затопления с общей площадью 0,5 тыс. кв. км, в которые попадают один город (Череповец - частично), один поселок городского типа (Шексна – частично), один сельский населенный пункт с проживающим в них населением общей численностью 3,6 тыс. человек.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате разрушения сооружений напорного фронта и характеризующиеся основным поражающим фактором – волной прорыва и, соответственно, катастрофическим затоплением местности, нередко сопровождаются вторичными поражающими факторами:

* пожарами – вследствие обрывов и короткого замыкания электрических кабелей и проводов;
* оползнями, обвалами – вследствие размыва грунта;
* инфекционными заболеваниями – вследствие загрязнения питьевой воды, продуктов питания и др.

Причины аварий, сопровождающихся прорывом гидротехнических сооружений напорного фронта и образованием волны прорыва, могут быть различны, как говорилось выше, но чаще всего такие аварии происходят по причине разрушения основания сооружения и недостаточности водосбросов. Процентное соотношение различных их причин приведено в таблице 1.4.1.

Таблица 1.4.1.

Частота различных причин аварий гидротехнических сооружений, сопровождающихся образованием волны прорыва

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

Процентное соотношение аварий для различных типов плотин представлено в таблице 1.4.2.

Таблица 1.4.2.

# Частота аварий для различных типов плотин

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

Основной причиной прорыва естественных плотин, образованных при образовании запруд в речном русле обрушившимися массами горных пород (при землетрясениях, обвалах, оползнях), либо массами льда (при движении ледников), является их перелив через гребень такой плотины и размыв ее.

Устойчивость и прочность гидротехнических сооружений напорного фронта задается по максимальным расчетным значениям уровня воды, скорости ветра, высоты волны, определяемым в соответствии со СниП 2.01.14-88.

Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений осуществляется в соответствии с общими требованиями Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений», принятого Государственной Думой 23 июня 1997 года:

* обеспечение допустимого уровня риска аварий гидротехнических сооружений;
* представление деклараций безопасности гидротехнических сооружений;
* разрешительный порядок осуществления деятельности, указанной в статье 12 настоящего Федерального закона;
* непрерывность эксплуатации гидротехнических сооружений;
* осуществление мер по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, в том числе установление критериев их безопасности, оснащение гидротехнических сооружений техническими средствами в целях постоянного контроля за состоянием, обеспечение необходимой квалификации работников, обслуживающих гидротехническое сооружение;
* необходимость заблаговременного проведения комплекса мероприятий по максимальному уменьшению риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях;
* достаточное финансирование мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений;
* ответственность за действия (бездействие), которые повлекли за собой снижение безопасности гидротехнических сооружений ниже допустимого уровня. [10, с. 24-32].

Аварийный сброс водохранилища.

При опорожнении водохранилища прежде всего активизируются экзогенные процессы, имевшие место до и после заполнения водохранилища, а также при его эксплуатации. Спуск водохранилища и отступание уреза воды вызовут оживление оползней, обвалов, осыпей. Возможно даже возникновение пыльных бурь на обнажающихся склонах.

Ученые все больше внимания в последние годы обращают на последствия паводочных сбросов и сбросов воды через плотины в чрезвычайных ситуациях – не исключена активизация эндогенных процессов. Так, мощные сбросы воды в нижний бьеф могут спровоцировать «местные» землетрясения силой 1-2 балла.

Спуск водохранилища вызовет также образование мелководных застойных зон, которые опасны как источники неблагоприятных бактериологических ситуаций.

Последствия повреждения плотин для верхних бьефов гидроузлов сходны с последствиями искусственного сброса воды. В этом случае существенными могут быть не прямые, а косвенные потери, связанные с нарушениями водоснабжения и электроснабжения, водных путей, вынужденной переориентацией энергоемких производств. Но главные беды будут связаны с поступлением в нижний бьеф загрязненных вод, с необходимостью очистки ложа водохранилища от различных отложений, содержащих токсичные соединения, тяжелые металлы, пестициды, нефть и другие виды органических веществ, накапливающихся на дне. При этом отложения сорбируют токсические вещества до уровней, намного превышающих содержание их в водной толще. [1, с. 6-7].

Основные параметры оценки последствий разрушения гидроузлов в нижнем бьефе.

Наряду с расчетами последствий разрушения плотин, выполненными НИИ «Гидропроект», в лаборатории гидрологии Института географии РАН были разработаны основные методические подходы к расчету параметров волны прорыва, ее картографированию и оценке последствий. Благодаря разработанным критериям остроты ситуации установлены зоны различной степени опасности последствий разрушительного воздействия волны прорыва. Они ранжировались следующим образом: катастрофические, значительные, ощутимые и незначительные. Каждая из названных градаций характеризуется конкретными параметрами волны прорыва и, соответственно, разными последствиями (таблица 1.4.3). Сочетание значений критериев остроты, определяющих ситуации в нижних бьефах поврежденных гидроузлов, может быть различным и зависит в первую очередь от уклонов, геоморфологических особенностей долины, величины прорана, времени года (половодье на реке или межень). [1, с. 3-4].

Таблица 1.4.3.

Основные параметры оценки последствий разрушения гидроузлов в нижнем бьефе

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Градация последствий | Характеристика последствий | Критерии остроты: |
| высота волны прорыва в % к высоте (h) плотины | время добегания волны прорыва (t, час) |
| Катастрофические | Затопления больших территорий, паралич хозяйственной деятельности, полное изменение уклада жизни, огромный материальный ущерб, гибель людей |  примерно 100 | менее 1 |
| Значительные | Частичное или полное затопление долины реки, существенные нарушения производственной деятельности и резкие изменения уклада жизни, массовая эвакуация населения и материальных ценностей, значительный материальный ущерб | 75 - 100 | 1 - 4 |
| Ощутимые | Затопления сравнительно больших участков речных долин, отдельные нарушения уклада жизни и производственной деятельности людей, частичная эвакуация населения, ощутимый материальный ущерб | 50 - 75 | 4 - 24 |
| Незначительные | Небольшие подъемы уровней воды и площади затоплений, сохранение режима жизни и производственной деятельности, незначительный материальный ущерб | менее 50 | более 24 |

Влияние на обстановку в населенных пунктах и повреждения, возникающие в результате воздействия.

Обстановка в населенных пунктах существенно зависит от морально-психологического состояния населения, а также инженерной обстановки. На морально-психологическое состояние населения влияют степень и сроки оповещения, уровень заблаговременной подготовки населения к действиям в случае прорыва плотины или наводнения, время года и суток, скорость и высота волны прорыва, скорость подъема воды и другие факторы.

Если заблаговременная подготовка не проводилась, то возникает паника, неорганизованное отступление и бегство от стихии, которые приводят к заторам и пробкам на путях эвакуации, дополнительным жертвам даже в результате образовавшейся давки. Усугубляют эту обстановку холодная, ненастная погода и темное время суток.

При заблаговременном оповещении и подготовке населения идет оперативная организованная эвакуация населения и материальных ценностей, мобилизуются органы управления и спасательные команды с техникой.

Оценка обстановки складывается из оценки параметров волны прорыва или возникающего в результате прорыва плотины наводнения и их влияния на здания, сооружения, почву, систему жизнеобеспечения.

Воздействие волны прорыва и возникающего в результате этого резкого подъема воды на населенный пункт может быть следующим:

* гидродинамический удар, воздействующий на здания и сооружения и приводящий к их разрушению;
* затопление водой жилищ, промышленных и сельскохозяйственных объектов, полей с выращенным урожаем, гибель скота;
* потеря капитальности зданий и сооружений;
* повреждение и порча оборудования предприятий;
* разрушение гидротехнических сооружений и коммуникаций, расположенных ниже разрушенного гидроузла;
* длительное гидравлическое давление на элементы мостов (опоры и т. п.);
* затопление и разрушение дорог и др. [11, с. 71-79]

Статистика и причины аварий плотин.

Из достоверно известных 40 веков испытания человечеством водных ресурсов на Земле, ХХ век можно считать периодом наиболее активного освоения пресных вод, в течение которого из 37,3 тыс. куб. км годового объёма стока рек в мире оказались зарегулированными около 6 тыс. куб. км. При росте населения Земли за период с 1,65 млрд. человек в 1900 г. до 5,2 млрд. человек в 1990 г. в ряде регионов Земного шара водные ресурсы оказались на пределе испытания, возникала серьёзная озабоченность состояния окружающей среды.

Регулирование 6 тыс. куб. км объёма воды речного стока потребовало возведения 36 235 высоких плотин всех типов, тогда как на начало ХХ века насчитывалось порядка 1000 плотин. Возведение ГТС, как правило, в густо населённых районах всегда выдвигало ряд проблем, важнейшей из которых являлось обеспечение надёжности сооружений и безопасности населения на участке его расположения. Безопасность плотин беспокоила уже первых гидростроителей древности: почти 5 тыс. лет назад при создании водохранилища для водоснабжения столицы Египта г. Мемфиса проблемы безопасности плотины были важнейшими, а успешная эксплуатация сооружения на протяжении последних двух тысячелетий служит примером обеспечения долговечности плотин и сегодня.

По данным Международной комиссии по большим плотинам, из 36 235 плотин, эксплуатируемых в странах – членов СИГБ (Международная комиссия по большим плотинам – Society International grand barrage) на 1105 из них были отмечены аварии. Стоимость ремонта одной только арочной плотины Кельнбрайн в Австрии в 1985-1991 гг. составила 191 млн. долларов.

На территории бывшего СССР эксплуатируется более 2500 водохранилищ объёмом более 1 млн. куб. м. Проблема обеспечения безопасности плотин, как показали аварии Киселёвской и Тирлянской плотин в 1993-1994 гг., весьма актуальна.

Из 36,2 тыс. существующих высоких плотин, эксплуатируемых в настоящее время, 6,3 тыс. являются бетонными или каменными, 29,9 тыс. – грунтовыми. Из указанных выше 1105 аварий число аварий бетонных плотин составляет – 380, грунтовых – 664. Анализ отказов показывает, что надёжность этих типов сооружений различна и зависит от безотказной работы отдельных подсистем. Для грунтовых плотин наибольшее число отказов связано с фильтрационными проблемами в теле и основании плотины при чрезвычайных паводках. Для бетонных плотин отказы вызваны преимущественно проблемами оснований. Расчётные нагрузки на плотины этого типа также различны.

Поскольку статистика отказов представляет интерес не только с целью оценки значимости отдельных факторов, но и для установления физических причин разрушений и повреждений, рассмотрим надёжность одного из указанных типов плотин – бетонных на скальных основаниях. Для ответа на вопрос, вызвано ли большинство аварий плотин чрезвычайными внешними воздействиями, не учтёнными при проектировании сооружения, или недооценкой его свойств под нагрузкой, рассмотрим взаимодействие подсистем «плотина» и «основание» в системе «сооружение – внешняя среда» (рис. 1.4.3) при отказах. Такое изучение может заключаться в анализе данных нормально эксплуатируемых сооружений или сооружений, претерпевших аварию.

В настоящей статье оценка надёжности выполнена по данным сооружений, претерпевших аварию. Причины двух форм аварии – разрушения или повреждения определяются с позиции возможного внешнего воздействия f (L) или недостаточной сопротивляемости подсистемы «плотина» или «основание» f(R) (рис. 1.4.4). При этом отказы будут иметь место в случае L > R (заштрихованная область на рис. 1.4.4). Кроме того, не следует забывать, что сооружения стареют, а требования к их надёжности (безопасности) – повышаются. Аварии техногенных систем – всегда ошибка специалиста вне зависимости от того, вызвана ли она недооценкой внешней нагрузки или недостаточной сопротивляемостью, допущенная в период изысканий, проектирования, строительства или эксплуатации.

Многофакторность анализа причин заключается в последовательном рассмотрении различных внешних воздействий и факторов сопротивляемости им для каждого сооружения в отдельности. Важным в этой части работы является выделение реальных моделей отказов, оценка вклада данных моделей в общее число отказов сооружения, изучение характера протекания физических процессов взаимодействия в системе «внешняя среда – сооружение» при отказах в зависимости от свойств основания, скорости протекания процессов отказа.

В многофакторной модели надежности бетонных плотин по данным фактических отказов выделены две группы факторов.

1. внешние воздействия (f (L) на рис. 1.4.4):
* давление воды при заполнении и эксплуатации водохранилища в пределах нормального подпорного горизонта;
* объем паводка выше расчетной величины;
* сейсмические;
* температурные;
* другие, в том числе строительного периода, когда допускается более высокий риск отказа.
1. группа факторов, характеризующих сопротивляемость скальных оснований бетонных плотин (f (R) на рис. 1.4.4):
	* чрезмерная проницаемость основания (фильтрация и противодавление);
	* деформационная неоднородность массива основания;
	* недостаточная прочность на сдвиг в основании плотины или в береговых примыканиях;
	* размываемость пород в нижнем бьефе.

В таблице 1.4.4. представлены результаты анализа аварий 240 (разница между упомянутым числом 380 аварий бетонных плотин, учтенных в работе СИГБ, или 240 – в таблице 1.4.4. составляет число аварий, связанных с телом плотины) бетонных плотин, рассматриваемых в соответствии с многофакторной методикой.

Приведенные в таблице 1.4.4. данные показывают, что наибольшее число аварий связано с действием постоянного для гидротехнических сооружений фактора – давления воды при заполнении водохранилища. На долю других внешних воздействий приходится 22,5 % аварий, из которых большая часть (63%) связана с действием чрезвычайных паводков. Наибольшее число аварий произошло в процессе первоначального наполнения водохранилища или в первые годы эксплуатации сооружения, т.е. в условиях, которые должны быть учтены при проектировании. Это свидетельствует о существенной значимости оценки свойств системы «сооружение», в том числе ее подсистемы «основание» при расчетных нагрузках, и должно учитываться инженерами, собирающимися сэкономить на изыскательных работах.

Таблица 1.4.4.

|  |  |
| --- | --- |
| Значимые свойства | Значимые внешние воздействия |
| заполнение водохранилища | паводки | сейсмические | другие | всего |
| Чрезмерная проницаемость | 110 | 6 | 2 | 2 | 120 |
| Деформационная неоднородность | 42 | 2 | 3 | 2 | 49 |
| Недостаточная прочность на сдвиг | 24 | 2 | 4 | 5 | 35 |
| Размываемость | 7 | 24 | -- | 1 | 32 |
| Другие | 3 | -- | 1 | -- | 4 |
| ВСЕГО: | 186 | 34 | 10 | 10 | 240 |

Уровень годовой интенсивности отказов бетонных плотин с учётом фактической наработки на отказ составляет:

* + по разрушению – 0,34Е-04
	+ по повреждению – 0,45Е-03.

Негативные социальные последствия катастроф плотин – наиболее чувствительный индикатор отношения общества к плотиностроению требует наиболее осторожных оценок, а открытая публикация и оценка этих данных является признанием вероятного характера аварий и катастроф.

В таблице 1.4.5. приведены данные по числу человеческих жертв в результате разрушения плотин. Годовая величина риска гибели людей в результате разрушения плотин всех типов может быть оценена – 1,4Е-07 – 5,1Е-08.

Различные внешние силовые воздействия имеют независимую природу и проявляются во время эксплуатации сооружения. Анализ этих воздействий следует производить раздельно. Это необходимо для оценки возможного риска отказа в пределах расчётного периода времени эксплуатации сооружения. В таблице 1.4.6. дано распределение 240 рассмотренных отказов скальных оснований бетонных плотин во внешних воздействий по уровням значимости.

По данным таблицы 1.4.6. следует, что отказы при заполнении водохранилищ составляют 78% от общего числа отказов, в том числе – 45% разрушений.

|  |  |
| --- | --- |
|  | Таблица 1.4.5. |
| Последствия наиболее крупных катастроф плотин. |
| №№ пп | Наименование плотины, страна | Год катастрофы | Объем водохранилища, млн. куб. м | Число жертв, чел. | Убытки |
| 1 | Пуэнтес, Испания | 1802 | 52 | 680 | -- |
| 2 | Шеффилд, Англия | 1864 | 3 | 238 | -- |
| 3 | Хабра, Алжир | 1881 | 30 | 209 | -- |
| 4 | Саут Форк, США | 1889 | 18,5 | 2209 | 150 млн. долларов |
| 5 | Бузи, Франция | 1894 | 7 | 156 | 40 млн. марок |
| 6 | Байлес, США | 1911 | 1 | 75 | -- |
| 7 | Тигра, Индия | 1917 | 126 | 1000 | -- |
| 8 | Глено, Италия | 1923 | 5 | 500 | 150 млрд. лир |
| 9 | Эйджи, Англия | 1925 | 4,5 | 16 | -- |
| 10 | Сен Френсис, США | 1928 | 46 | 428 | 100 млн. долларов |
| 11 | Зербино, Италия | 1935 | 18 | 130 | 25 млрд. лир |
| 12 | Вега де Терра, Испания | 1959 | 8 | 144 | -- |
| 13 | Мальпассе, Франция | 1959 | 47 | 421 | 68 млн. долларов |
| 14 | Вайонт, Италия | 1963 | 168 | 1899 | 100 млн. долларов |
| 15 | Койна, Индия | 1967 | 2780 | 216 | -- |
| 16 | Титон, США | 1976 | 308 | 11 | 1 млрд. долларов |
| 17 | Мачху II, Индия | 1979 | 100 | 2000 | -- |
| 18 | Тоус, Испания | 1982 | 50 | 28 | 360 млн. долларов |
| 19 | Кисилевское, Россия | 1993 | 32 | 16 | 40 млрд. рублей |
| Распределение отказов скальных оснований бетонных плит вследствие внешних воздействий |
| №№ пп | Внешние воздействия | Всего отказов | В том числе разрушений | % | % |
| 1 | Заполнение и эксплуатация водохранилища | 186 | 8 | 0,78 | 0,45 |
| 2 | Паводки | 34 | 7 | 0,14 | 0,39 |
| 3 | Сейсмические воздействия | 10 | 2 | 0,04 | 0,11 |
| 4 | Другие (температурные, заиление идр.) | 10 | 1 | 0,04 | 0,05 |
|   | ВСЕГО: | 240 | 18 | 1 | 1 |

Поскольку гидростатическое давление воды при заполнении водохранилища является расчётной нагрузкой и должно учитываться при проектировании сооружения, очевидно, что отказы в этих случаях являются следствием недостаточной сопротивляемости системы «сооружение», в том числе его подсистемы «основание».

В таблице 1.4.7. дан перечень 18 разрушившихся бетонных плотин с выделением причин их аварий по многофакторной модели.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  | Таблица 1.4.7. |
| Причины разрушения бетонных плотин на скальном основании |
| №№ пп | Название плотины, страна | Тип\*; высота плотины, м | Причины разрушения |
| внешние воздействия | сопротивляемость |
| 1 | Аустин, США | Г; 18,3 | Паводок | Сдвиг |
| 2 | Байлес, США | Г; 15,2 | Наполнение водохранилища | Сдвиг, фильтрация |
| 3 | Бузи, Франция | Г; 22 | Наполнение водохранилища | Сдвиг, противодавление |
| 4 | Зербино, Италия | Г; 16,5 | Паводок | Размыв основания |
| 5 | Каньон дель Пато, Перу | Г; 20 | Землетрясение | -- |
| 6 | Коморо, Япония | Г; 16 | Наполнение водохранилища | Фильтрация |
| 7 | Ламер, США | А; 19 | Паводок | Фильтрация |
| 8 | Мальпассе, Франция | А; 66,5 | Наполнение водохранилища | Противодавление, сдвиг |
| 9 | Мое Ривер, США | А; 16 | Паводок | Размыв примыкания |
| 10 | Понтеба, Алжир | Г; 10 | Землетрясение | Сдвиг |
| 11 | Рутта, Италия | А; 15 | Наполнение водохранилища | Фильтрация |
| 12 | Свитуотер, США | Г; 39 | Паводок | Размыв примыкания |
| 13 | Стони, США | К; 16 | Наполнение водохранилища | Размыв, фильтрация |
| 14 | Сен Френсис, США | Г; 62,5 | Наполнение водохранилища | Деформационная неоднородность, фильтрация |
| 15 | Тигра, Индия | Г; 27,5 | Паводок | Сдвиг |
| 16 | Хиригуэра, Испания | Г; 42 | -- | Сдвиг |
| 17 | Хиронаи, Япония | Г; 14 | Наполнение водохранилища | Размыв в нижне бьефе |
| 18 | Эль Хабра, Алжир | Г; 34 | Паводок | Размыв основания |
| \* Г - гравитационная; А - арочная; К - контрфорсная. |

Ниже рассмотрены аварии плотин с катастрофическими последствиями, связанные с недооценкой отдельных факторов.

Гравитационная плотина Сан-Френсис в Калифорнии, США, высотой 62,5 м, длиной по гребню 186 м, объёмом водохранилища 46 млн. м3 была построена в период, когда оценке свойств основания уделялось мало значения. Основание плотины было сложным по строению и свойствам: на левом берегу и русловой части каньона залегали сланцы с прочностью на сжатие 25-77 МПа (исследования пород основания были проведены только после аварии), правобережное примыкание представлено конгломератами с включениями гипса, прочными в сухом состоянии (прочность на сжатие составила 4,2-13,2 МПа). После замачивания прочность образцов снизилась до 1,5-3,8 МПа, а два образца распались. Причиной низкой прочности водонасыщенных конгломератов послужил гипс. Контакт обоих типов пород в основании плотины был представлен разломом, являвшимся оперением известного калифорнийского разлома Сан-Андреас. Активность разлома при строительстве отмечена не была.

При проектировании плотины расчётное давление на конгломераты было принято 1,3 МПа, поскольку показатели породы до аварии не изучались. Цементация основания проектом предусмотрена не была, а дренаж был выполнен в центральной части плотины, сохранившейся неразрушенной. Наполнение водохранилища было начато в 1926 г. и к марту 1928 г. было завершено. С начала наполнения водохранилища в основании плотины была зафиксирована фильтрация с расходом 56 л/с, которая с течением времени возрастала. Осмотр плотины главным инженером 12 марта 1928 года за день до катастрофы не привел к выявлению опасных дефектов в состоянии сооружения. Ночью 13 марта 1928 года произошло разрушение плотины. Число погибших составило 428 человек, убытки от действия волны прорыва в 10 раз превысили затраты на возведение сооружения и составили 150 млн. долларов в ценах 1975 года. По заключению многочисленных комиссий специалистов, расследовавших аварию, причиной ее было недостаточно прочное правобережное примыкание, сложенной конгломератами, и уменьшение их прочности под действием воды.

Авария плотины послужила причиной принятия Закона о федеральном контроле за строительством плотин в штате Калифорния, в соответствии с которым все плотины высотой более 6 футов и объемом водохранилища более 18,5 тыс. кв. м подлежат контролю их состояния. В целом в США в настоящее время Федеральной энергетической комиссией (ФЕРГ) контролируется состояние более 2000 крупных водохранилищ из учтенных в кадастре более 67 тыс./ч.

Катастрофой современной бетонной плотины, связанной с недоучетом особенностей строения скального основания, является разрушение и арочной плотины Мальпасе во Франции в 1959 году. Плотина Мальпасе высотой 66,5 м, длиной по гребню 222 м, водохранилищем объемом 51 млн. куб. м была возведена на реке Рейран на южном побережье Франции. Основание плотины, изучение свойств которого произведено после аварии, представлено гнейсами с модулем деформации 0,38 – 1,8 ГПа, прочностью на сжатие 32-42 МПа. Проницаемость породы не превышала 2 Люжон (единица водопроницаемости скальных пород, 1 Люжон равен расходу 1 л/с при давлении 1 МПа, поддерживаемого в течение 10 мин). Строительство этой тонкой арочной плотины было окончено в 1955 году, однако наполнение водохранилища производилось медленно. В процессе заполнения водохранилища один раз в год, в период постоянного уровня водохранилища, производились измерения деформаций плотины по реперам, забетонированным на низовой грани. За несколько недель до катастрофы, в октябре 1959 года, в днище гасителя водосброса были зафиксированы трещины, распространившиеся вдоль русла реки. 2 декабря 1959 года в 21.00 плотина разрушилась. В результате катастрофы погиб 421 человек, убытки в два раза превысили все затраты на строительство плотины и составили 68 млн. долларов. Комиссии, расследовавшие причины аварии, установили, что разрушение началось в левобережном примыкании, сложенном гнейсами, имевшими падение в нижнем бьефе, и тектоническое нарушение мощностью 80 см, заполненное глиной, секущее эти слои. Нарушение простиралось в основании левобережного примыкания на глубине 15 м под основанием плотины и выходило на поверхность ущелья в 30 м ниже плотины. Строение скального массива способствовало обжатию гнейсов при передаче нагрузки от водохранилища в примыкания и уменьшению водопроницаемости пород на два порядка по сравнению с естественным состоянием. Это послужило причиной передачи полного противодавления воды на обжатый скальный массив и его перемещению под действием этих нагрузок.

Авария плотины Мальпасе послужила толчком повсеместного внедрения в практику плотиностроения дренажа скальных массивов и изучения поведения скальных массивов под нагрузкой в полевых условиях.

Аварии плотин Вега де Терра в Испании в 1959 году, плотины Вайонт в Италии в 1963 году, привели к введению в практику натурных наблюдений за состоянием сооружения, детальных исследований свойств основания плотины до начала строительства.

Другой по значимости внешней нагрузкой, вызвавшей отказы, в том числе и в последнее время, являются паводки вероятностью ниже расчетной величины. Анализ показывает, что всегда имеется риск превышения поверочного расхода на водосливе в течение расчетного срока службы сооружения. Для бетонных плотин эта вероятность, по нашим данным, составляет 8,9Е+04. На грунтовой плотине Мачху II в Индии определенный на основании 90-летних наблюдений расчетный расход 5,7 тыс. куб. м/с оказался превзойденным дважды в течение четырех лет эксплуатации, а в 1979 году – в 4,7 раза и достиг 26,6 тыс. куб. м/с. Это свидетельствует об исключительной важности правильной оценки расчетного водосбросного расхода. В разное время подобные катастрофы имели место на плотинах: Саут Форк в США, Зербино в Италии, Тоус в Испании и недавнее разрушение плотины Кулекхани в Непале.

Сейсмические воздействия – сравнительно недавно учитываемый фактор при расчетах плотин, на который обратили внимание, по-видимому, после разрушения грунтовой плотины Шеффилд высотой 7,5 м в Калифорнии в 1925 году. Катастрофического разрушения крупной плотины в результате сейсмического воздействия не зарегистрировано, однако разрушения небольших плотин имели место. Так, бетонная гравитационная плотина Каньон дель Пато высотой 20 м в Перу в результате катастрофического 10-бального землетрясения с магнитудой 7 ¾ с эпицентром в 25 км от гор. Чимботе, в результате которого лавина скальных обломков перекрыла русло реки Санта, оказалась разрушенной. В катастрофическом Спитакском землетрясении в Армении в 1988 году интенсивностью 10 баллов небольшие гидроэлектростанции ДзораГЭС и Ленинаканская, расположенные в 20 км от эпицентра, получили повреждения в виде трещин. Неопределенность этого фактора и высокий социальный риск в случае аварии заставили отказаться от возведения в 1967-1970 гг. арочной плотины Оберн в Калифорнии, несмотря на то, что уже было израсходовано 360 млн. долларов.

Отказы от других внешних воздействий составляет 4%. Так, ежегодно из-за затопления водохранилищ теряется 1% полезной ёмкости водоёмов. С введением ранней диагностики состояния плотин после серии катастроф в 60-е годы путём измерения и контроля потенциально опасных факторов риска вероятность разрушения плотин снизилась до 0,1% при росте риска повреждения. Затраты на ликвидацию таких повреждений значительны. Для многоарочной плотины Даниель Джонсон высотой 210 метров в провинции Квебек в Канаде, построенной по проекту французской фирмы «Коин и Белье», перепад температуры более в 50С вызвал трещинообразование в плотине и основании и потребовал проведения ремонтных работ по созданию теплозащитного экрана и укрепления основания стоимостью в 144 млн. долларов. [12, с. 40-50]

1.5 Влияние водохранилища на экосистему речной долины

Строительство водохранилищ имеет позитивные экономические и негативные экологические последствия, включая потенциальную опасность для населенных пунктов, лежащих на прилегающих к водохранилищу территориях. (Однако следует отметить, что значительные или заметные изменения в окружающей среде вызывают преимущественно крупные и некоторые средние водохранилища. Влияние небольших и малых водохранилищ на природу и хозяйство территории обычно невелико, а нередко и положительно.)

Позитивная сторона довольно ясна: производство энергии, водоснабжение промышленных центров, ирригация и улучшение условий для водного транспорта, рекреация и др.

Негативная сторона довольно многообразна и основана на реальном опыте:

1. В верхнем бьефе:
	* развитие ветровой абразии;
	* переработка берегов водохранилища и их трансформация;
	* заболачивание новых территорий в результате подтопления их водохранилищем;
	* изменение качества вод (содержание растворенного кислорода, эвтрофикация и т.д.);
	* изменение термического и ледового режимов;
	* аккумуляция в донных отложениях токсичных веществ;
	* изменение уровневого и скоростного режимов;
	* отчленение плотиной нерестилищ проходных и полупроходных рыб.
2. В нижнем бьефе:
* переосушение поймы в результате изменения водного режима;
* изменение качества вод;
* увеличение эрозионной способности благодаря осветлению воды в верхнем бьефе;
* изменение термического и ледового режимов;
* уменьшение частоты формирования руслоформирующего и поймоформирующего расходов;
* изменение местных климатических условий (увеличение влажности, скорости ветра и т.п.).

Таким образом, при строительстве водохранилища для минимизации негативного воздействия на природную среду необходимо использовать критерии для выбора места для постройки (такие как коэффициенты использования земельной площади водохранилищем, расширения водной поверхности, падения растворенного кислорода в водохранилище во все месяцы года, коэффициент эвтрофирования, мелководности, термической стратификации, водообмена, выравнивания максимального расхода воды, экологический сток или экологически необходимые расходы и уровни воды во все фазы водного режима в годы различной обеспеченности, коэффициент развитости поймы). [10], [23, с. 75-76].

1.6 Контроль, безопасность, законодательство (по зарубежным и российским примерам)

Аварии, произошедшие во многих странах, стимулировали принятие законодательных мер по безопасности плотин, включающих постоянные наблюдения за состоянием объектов, контроль за соблюдением норм и правил эксплуатации, выявление и устранение повреждений, выполнение в срок профилактических ремонтов, проведение регулярных инспекций (не реже одного раза в 5 лет).

Во Франции с 1966 г. все плотины, выше 20 м и образующие водохранилище объемом более 15 млн. куб. м, поставлены под особый контроль государства. Кроме обычных мер, обеспечивающих безопасность гидротехнических сооружений, контроль предусматривает испытания водосбросных устройств и полное опорожнение водохранилища один раз в 10 лет.

В Швейцарии система контроля, принятая в 1957 г., обеспечивает наблюдение за всеми плотинами выше 10 м, за плотинами высотой 5-10 м, образующими водохранилища объемом более 50 тыс. куб. м, и за плотинами ниже 5 м, если их разрушение представляет опасность для территорий в нижних бьефах.

В большинстве штатов США законодательство по безопасности плотин было принято в последнее десятилетие. В соответствии с законом инспекции подлежат все русловые плотины высотой более 1,83 м с водохранилищами объемом 61 667 куб. м, или высотой более 4,57 м с водохранилищами объемом 18 500 куб. м. В 1963 г. после аварии на плотине Болдуин Хиллз закон был распространен и на все плотины наливных водохранилищ.

Разрушение плотины Тетон в 1976 г. так всколыхнуло американскую общественность, что вопросом безопасности гидросооружений заинтересовался президент США Джимми Картер. Его интерес еще более усилился после аварии во время урагана на небольшой частной плотине (ноябрь 1977 г.) в его родном штате Джорджия, в результате чего погибли 38 человек. Был созван специальный Межведомственный совет по безопасности плотин, в состав которого вошли федеральные агентства, занимающиеся проектированием, строительством и эксплуатацией этих сооружений.

В 1979 г. Федеральное агентство по чрезвычайным ситуациям опубликовало «Директивы по безопасности плотин». Наиболее важной частью этого документа является раздел, в котором детально расписаны планы действий во время аварийных ситуаций. Они включают:

* анализ причин и способов разрушения плотины (постепенное или внезапное),
* восстановительные работы (меры по возмещению ущерба),
* карты затоплений,
* оповещение и предупреждение властей и населения,
* планы эвакуации.

В России в 1997 г. вступил в силу Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений», предусматривающий не только меры, осуществляемые и контролируемые государством, но и порядок обеспечения безопасной эксплуатации сооружений их собственниками и эксплуатирующими организациями. Обязательным является выполнение диагностического контроля за состоянием гидротехнических сооружений, их оснований с применением современной контрольно-измерительной аппаратуры и компьютерных систем мониторинга.

Аварийное состояние многих гидротехнических объектов вызвало повышенное внимание со стороны водохозяйственных органов. Ведомства приняли конкретные шаги, обеспечивающие нормальное функционирование подпорных сооружений. В ежегодных отчетах МЧС России стали отмечаться наиболее опасные ситуации на гидросооружениях, обнародован справочный материал «Об экологических угрозах, связанных с техническим состоянием гидроузлов России».

Для совершенствования систем контроля за опасными проявлениями стихийных и антропогенных факторов при эксплуатации гидросооружений Министерством топлива и энергетики и его подразделениями созданы комиссии. Образован Межведомственный комитет по контролю за их состоянием, в который вошли представители Минтопэнерго, Минприроды и МЧС, а в РАО «ЕЭС» функционирует Главный Энергонадзор.

Как показывает практика, ущерб от аварий во много раз превышает стоимость сооружения. В то же время контроль, хотя бы в объеме 1-2 % его стоимости, значительно снижает вероятность аварий. Вот почему за состоянием плотин, шлюзов, дамб и других устанавливается жесткий мониторинг. Он подразумевает систему мер по наблюдению, оценке, контролю и управлению за состоянием гидротехнических объектов в целях предотвращения или уменьшения вероятности аварий и их катастрофических последствий. Эта система должна включать и фундаментальные исследования, в том числе:

* новые разработки по прогнозированию факторов риска, меры по соблюдению норм безопасности, корректировку инженерных решений на всех этапах создания и эксплуатации гидроузлов;
* разработку системы по раннему оповещению и защите населения, природных и хозяйственных объектов от катастроф;
* обучение населения поведению и действиям при авариях;
* разработку сценариев реагирования во время и после катастроф;
* оказание помощи пострадавшим;
* ликвидацию последствий. [1, с. 7-8]

2. Описание предприятия

2.1 Общие сведения по Павловской ГЭС

Гидротехнические сооружения Павловской ГЭС расположены правом притоке реки Белой - на реке Уфе, и находятся в 177 км выше по течению г. Уфы. [13, с. 8]. Согласно [14, с. 71], можно привести некоторые параметры водотока (реки Уфы):

«Площадь водосброса – 46 500 кв. км. Среднемноголетний сток – 10,5 куб. км. Среднемноголетний расход – 336 куб. м/сек. Максимально наблюденный расход – 4 800 куб. м/сек (май 1979 г.). Расчетный максимальный расход воды обеспеченностью

* 0,1 % - 8 050 куб. м/сек (основной расчетный случай);
* 0,1 % - 8 200 куб. м/сек (проверочный расчетный случай);
* 1,0 % - 6 140 куб. м/сек;
* 5,0 % - 4 880 куб. м/сек;
* 10,0 % - 4 300 куб. м/сек.

Средний расход летней межени – 285 куб. м/сек. Средний расход зимней межени – 125 куб. м/сек.»

Павловская ГЭС является филиалом ОАО «Башкирэнерго». Генеральным директором ОАО «Башкирэнерго» является Салихов А. А. Главным инженером – Пискунов А. А.

Полный почтовый адрес Павловской ГЭС: 452432, Республика Башкортостан, Нуримановский район, пгт. Павловка. Телефон: (3472) 31-54-95, 29-37-73. E-mail: postmasterpges bashen.elektra.ru. Директором Павловской ГЭС является Можаев Борис Иванович, главным инженером – Садретдинов Флюр Альмухаматович.

Строительство Павловской ГЭС началось в 1950 г. и осуществлялось УфаГЭСстроем по проекту Московского отделения «Гидроэнергопроекта» («Мосгидэп»). 24 апреля 1959 г. состоялась приемка в эксплуатацию первой очереди электростанции, а приемка полностью законченного строительством гидроэнергетического узла в эксплуатацию государственной комиссией состоялась уже в июне 1961 г. [13, с. 8-9].

Все гидросооружения по ГОСТ 3315-46 отнесены ко второму классу.

Тип гидроэлектростанции – русловая. Расчетный напор – 22,00 м. Расчетный расход через один гидроагрегат (4 шт.) – 221 куб. м / с. Установленная мощность ГЭС – 166,4 МВт. Среднемноголетняя выработка электроэнергии – 590 млн. кВт\*ч.

В состав гидроузла входят:

* здание ГЭС совмещенное с водосливом;
* подводящий канал;
* отводящий канал;
* глухие русловая и левобережная грунтовые плотины
* шлюз – водосброс, находящийся на балансе Павловского района гидросооружений
* водохранилище.

Длина напорного фронта гидротехнических сооружений – 810 м.

Расчетный сбросной расход воды через водопропускные сооружения при нормальном (НПУ=140, 00) – 6515 куб. м/сек и форсированном (ФПУ=142, 00) – 8035 куб. м/сек подпорных уровнях соответственно. Максимальный сбросной расход через гидроузел, определенный Правилами эксплуатации Павловского водохранилища (1995 г.), составляет 8050 куб. м/сек. [13, с. 9-10; 14, с. 1-2].

Сведения по структуре и размещению персонала Павловской ГЭС.

Согласно [13, с. 10], «для Павловской ГЭС, как филиала Башкирского акционерного общества энергетики и электрификации «Башкирэнерго», предусмотрено следующее распределение и размещение штатов (по состоянию на 1 апреля 1999 г.) »:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№ п.п. | Перечень рабочих мест | Количество штатных единиц |
| 1 | Управление | 27 человек |
| 2 | Электротехнический цех | 37 человек |
| 3 | Гидротурбинный цех | 49 человек |
| 4 | Транспортный цех | 35 человек |
| 5 | Ремонтно-строительный цех | 28 человек |
|   | ВСЕГО | 176 человек |

2.2 Сооружения ГЭС

Тип плотины – водослив с широким порогом, водобоем, рисбермой, подводящим и отводящим каналами. Материал – железобетон. Грунты основания – разборная скала (известняки). Основные размеры плотины:

* длина по гребню – 119,0 м;
* ширина по гребню – 30,0 м;
* ширина по подошве – 67,0 м;
* отметка гребня – 144,50 м;
* отметка порога водослива – 127,70 м.

Количество пролетов – 4 шт. Ширина пролета – 16 м.

Максимальный напор на плотину (при НПУ=140,00) – 33,25 м.

Расчетные расходы через водосливные отверстия: пропускная способность одного отверстия при НПУ (НПУ=140,00) – 1150 куб. м/сек (4600 всех отверстий), при ФПУ (ФПУ=142,00) – 1350 куб. м/сек (5400 всех отверстий).

В состав ГТС Павловской ГЭС входят здание ГЭС совмещенное с водосливом, подводящий и отводящий каналы, глухие русловая и левобережная грунтовые плотины, шлюз-водосброс, водохранилище.

Водохранилище.

Водохранилище Павловского гидроузла расположено на территории четырех районов: Караидельском, Покровском, Нуримановском и Аксинском. Водохранилище образовано в долинах реки Уфы и ее притоках: Юрюзань, Урюш, Тюй, Байки и других.

Основные показатели водохранилища [13, с. 17-19]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| №№ п.п. | Характеристики | Значения |
| 1 | Отметка нормального подпорного уровня (НПУ) | 140 |
| 2 | Отметка форсированного подпорного уровня (ФПУ) | 142 |
| 3 | Отметка уровня мертвого объема (УМО) | 128,5 |
| 4 | Площадь зеркала при НПУ, кв. км | 115,9 |
| 5 | Полный объем, млн. куб. м при НПУ |   |
| \* по проекту (1960 г.) | 1410 |
| \* по данным съемки 1997 г. | 1410 |
| 6 | Полезный объем, млн. куб. м |   |
| \* по проекту (1960 г.) | 895 |
| \* по данным съемки 1997 г. | 895 |
| 7 | Характер регулирования бытового стока реки | суточный недельный сезонный |

Водоподпорные сооружения – земляные плотины: русловая и левобережная.

Русловая грунтовая плотина намывная с ядром.

Материалы плотины:

* ядро – мелкозернистый песок;
* боковые призмы – аллювиальные отложения на известняках.

Длина по гребню – 232,0 м.

Ширина по гребню – 8,0 м. Ширина по подошве – 250,0 м.

Наибольшая высота – 43,0 м.

Максимальный напор на плотину – 35 м.

Отметки гребня – 143,0-144,5.

Противофильтрационные устройства:

* ядро по оси плотины;
* над ядром возведена буробетонная стенка;
* двухрядная цементационная завеса в основании.

Левобережная плотина насыпная, укатанная, из местных материалов (суглинки).

Длина по гребню – 397,0 м.

Ширина по гребню: от 8,0 м до 40 м (в примыканиях к зданию ГЭС).

Ширина по подошве – 250 м.

Наибольшая высота – 46,0 м.

Максимальный напор на плотину – 35 м.

Отметки гребня – 143,0-144,5.

Противофильтрационные устройства: цементационная завеса, смещенная от оси плотины в сторону НБ на 5,1 м.

Дренажные устройства: в основании лоток с выпуском воды в отводящий канал. [13, с. 14-16].

Здание ГЭС.

Здание электростанции разделено на две секции, в каждой из которых расположено по два гидроагрегата и два водосливных пролета.

Надводная часть здания выполнена из железобетона с машинным залом гидроэлектростанции. Основные размеры надводной части, м:

* длина – 120,0
* ширина по верху – 30,0, по низу – 67,0
* высота – 40,0.

В щитовом отделении верхнего бьефа размещены пазы сороудерживающих решеток.

Подводная часть здания выполнена из железобетона и конструктивно представляет собой монолитную фундаментную плиту. В фундаментной плите располагается 3 потерны (цементационная, водоприемная, служебная) и 4 отсасывающие трубы.

Противофильтрационные устройства: понур перед зданием ГЭС – железобетонная плита длиной 16 м, цементационная завеса глубиной 56 м.

Основные размеры подводной части, м:

* длина – 123,0
* ширина – 67,0
* высота – 13,5.

Здание гидроэлектростанции сопрягается в верхнем бьефе гидроузла с левобережной грунтовой плотиной. Грузоподъемное оборудование для обслуживания механического оборудования здания ГЭС со стороны верхнего бьефа – 2 крана (150 т), со стороны нижнего бьефа – 1 кран (150 т).

Подводящий канал ограничен левобережной подпорной стенкой пирсом шлюза. Длина – 80 м, ширина – 79 м.

Отводящий канал.

Отметки уровней НБ:

* наивысшего – 114,80 при Q=5250 куб. м / с;
* наинизшего – 106,75 при Q=160 куб. м / с.

Канал общей длиной 300 м, состоит из 2-х участков: 100 м первый и 200 м второй.

Судоходный шлюз-водосброс.

Шлюз – водосброс, шахтного типа, находящийся на балансе Павловского района гидросооружений может служить, как для целей судоходства, так и для пропуска катастрофического паводка.

Число камер – 1.

Размеры камеры:

длина – 120 м;

ширина – 15 м.

Строительная высота – 44,5 м.

Глубина воды на короле – 1,75 м.

Система питания – через продольные галереи с поперечными выпусками.

Объем воды сливной призмы – 57 600 куб. м.

Пропускная способность при пропуске катастрофического паводка – 1410 куб. м/с.

Правая стенка камеры шлюза является упором русловой плотины, левая – общая со зданием ГЭС. Оборудование по маневрированию затворами со стороны ВБ и НБ находится в помещениях нижней и верхней голов шлюза.

В настоящее время однокамерный шлюз Павловского гидроузла является самым высоконапорным (32,9 м) в Российской Федерации. [13, с. 11-19].

Сведения о границах и размерах территории Павловской ГЭС, границах запретных и санитарно-защитных зон.

Длина напорного фронта гидротехнических сооружений Павловской ГЭС составляет 810 км. Подпор от Павловского гидроузла распространяется по водохранилищу на 150 км.

Запретной зоной Павловской ГЭС, которая огорожена и охраняется, является вся территория комплекса гидротехнического узла.

В соответствии с «Положением о водоохранных зонах водных объектов и их прибрежных защитных полосах», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 23 ноября 1996 г №1404, минимальная ширина водоохранной зоны

* реки Уфы на участке расположения гидроузла, составляет 300 м;
* Павловского водохранилища составляет 55 – 100 м (в зависимости от крутизны склонов бортов водохранилища и вида угодий).

По Акту отвода земель №93 утвержденному Постановлением главы администрации Нуримановского района от 07.03.95 Дирекции Павловской ГЭС предоставлено в пользование

* 18,0 га земли под территории станционного узла с хоздвором и здания управления;
* 1184 га – площадь водного фонда;
* 9,08 га – под базу отдыха «Бирючево поле»;
* площади производственного фонда (2,66 га) в поселке Павловка;
* площади ведомственного фонда (120,8 га) в поселке Павловка. [13, с. 17-19].

3. Уязвимые места ГТС Павловской ГЭС

3.1 Краткая характеристика основных положений проекта гидротехнических сооружений

Проектирование ГТС выполнялось исходя из требований комплексного использования водных ресурсов. Выбор типа сооружений и компоновка гидроузла были произведены на основании технико-экономических показателей, разработанных с учетом:

* природных условий района и места возведения сооружений (инженерно-геологических, топографических, гидрогеологических и других факторов окружающей среды);
* перспективного развития энергопотребления;
* изменения условий рыбного хозяйства и судоходства;
* требований санитарной подготовки и санитарной охраны зоны водохранилищ;
* условий производства работ, временной и постоянной эксплуатации ГТС и т.д.

При проектировании гидроузла Павловской ГЭС выбирался вариант из 4-х основных компоновочных решений:

1. Левобережная компоновка с водосливной ГЭС в русле реки и пятиступенчатым шлюзом.
2. Пойменная компоновка с водосливной ГЭС на надпойменной террасе и пятиступенчатым шлюзом.
3. Левобережная компоновка с водосливной ГЭС в русле реки и одноступенчатым шлюзом.
4. Пойменная компоновка с водосливной ГЭС на надпойменной террасе и одноступенчатым шахтным шлюзом.

Наиболее экономичным по условиям производства работ был признан 4-й вариант компоновочного решения, который представлен в следующем виде:

* + здание ГЭС совмещенное с водосливом расположено на надпойменной террасе реки Уфа в 20 м от старого русла;
	+ с левой стороны к нему примыкает монтажный блок ГЭС и справа – однокамерный шлюз;
	+ напорный фронт сооружений в левом плече завершается левобережной насыпной плотиной, а в русловой части - намывной плотиной.

Окончательная компоновка гидроузла была проверена лабораторией ВОДГЕО на жесткой модели на открытой площадке в масштабе 1:100, включающей в себя все элементы гидросооружений, а также русло и пойму реки на участке 2-5 км в районе створа.

Гидростатическое давление на плотину и давление волн учитывалось по ГОСТ 3255-46.

Давление фильтрационных вод определялось по методу, изложенному в приложении №7 к Техническим Условиям 24-104-40 Главгидроэнергостроя.

Сейсмические силы при расчёте не учитывались.

Статическое давление льда на сооружения – по ГОСТ 1664-42.

Ветровое давление – по ГОСТ 1664-42.

Нагрузки от судов – по ГОСТ 3439-46.

Расчёт общей устойчивости производился на следующие случаи работы:

* на опрокидывание;
* на сдвиг по основанию;
* на сдвиг по криволинейным плоскостям (глубокий сдвиг);
* на устойчивость грунта в основании;
* на осадку основания.

Общая устойчивость проверялась на чрезвычайные (катастрофические) условия эксплуатации. Исследовался случай наиболее невыгодной комбинации сил и нагрузок.

Применялись следующие коэффициенты запаса для сооружений 2-го класса:

* в нормальных эксплуатационных условиях –1,40;
* для строительного случая – 1,20;
* для чрезвычайных (катастрофических) условий эксплуатации – 1,10.

Гидравлические характеристики водосбросных сооружений приняты по результатам лабораторных исследований на модели гидроузла масштаба 1:100 и отдельных сооружений в масштабе 1:65. [13, с. 20-23].

3.2 Обоснование о включении Павловского гидроузла в перечень объектов электроэнергетики, на которые распространяются требования Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений»

Павловский гидроузел был запроектирован и построен в целях комплексного использования водных ресурсов реки Уфы, с учетом перспективного развития энергопотребления, водоснабжения и судоходства.

В комплекс Павловского гидроузла входят водоподпорные, водопроводящие, судоходные и другие сооружения (см. раздел 2 «Описание предприятия»), повреждения которых могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций, поскольку от их надежности зависит не только работа Павловской ГЭС, но и функционирование хозяйственных и промышленных объектов региона.

Ниже створа водоподпорных сооружений головного узла, в 5-10 км от створа расположены населенные пункты Красный Ключ, Нижняя Павловка, Яман-Елгинский ЛПХ, Кировка.

Учитывая вышеизложенное и во исполнение требований Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений», Павловская ГЭС была включена в перечень объектов электроэнергетики, подлежащих декларированию безопасности в 1998 году (см. совместный приказ Минтопэнерго России и МЧС России от 31 декабря 1997 г. №461/792).

Сведения о возможных материальных, социальных и экологических последствиях аварии ГТС для объектов жизнеобеспечения и хозяйственных объектов, об уровне освоения зоны расположения гидротехнических сооружений (использование территории гидротехнического сооружения и русла водотока в хозяйственных целях, наличие промышленной и гражданской застройки, затапливаемой в нижнем бьефе при образовании волны прорыва) являются секретными и имеются в ОАО «Башкирэнерго». [13, с. 30-31].

3.3 Характеристика факторов, определяющих уровень безопасности гидротехнических сооружений

Фактические условия эксплуатации ГТС удовлетворяют требованиям действующих норм и правил.

В соответствии с картами оценки сейсмического районирования (ОСР – 97), применяемым с 1998 года в качестве НТД, для района расположения Павловской ГЭС, подтверждена сейсмическая активность 5 баллов.

Селевой и оползневой опасности, в том числе опасности обрушения береговых склонов в водохранилище не имеется.

За весь период эксплуатации Павловского гидроузла максимальный расход паводка отмечался 7 мая 1979 г. и составил 4800 куб. м/сек. При этом величина приточности с большим запасом не превышала расчетные максимальные расходы обеспеченностью Р=0,1% - 8200 куб. м/сек и Р=1% - 6140 куб. м/сек.

Изменений расчетных значений механических и фильтрационных характеристик материалов сооружений и конструкций, а также свойств пород оснований не имеется.

Павловская ГЭС находится в эксплуатации свыше 40 лет. За этот период случаев аварий на ГТС зарегистрировано не было, что свидетельствует о достаточной степени надежности сооружений и приемлемых условиях эксплуатации на всех этапах деятельности структурных образований.

Показатели состояния гидротехнических сооружений соответствуют критериям безопасности, установленным для сооружений Павловской ГЭС.

Водопропускные сооружения гидроузла полностью обеспечивают пропуск паводковых расходов расчетной обеспеченности.

Гидротехнические сооружения и их механическое оборудование в целом находятся в работоспособном состоянии.

Фильтрационный режим сооружений, согласно визуальным и инструментальным наблюдениям, носит в целом установившийся характер. [13, с. 38-41].

3.4 Сведения о нарушениях, допущенных в процессе строительства и эксплуатации ГТС

Проектные решения сооружений можно считать удачными, но отступления от них при строительстве сделали эксплуатацию затруднительной в связи с необходимостью проведения значительных реконструктивных и ремонтных работ для повышения надежности сооружений.

Строительство Павловской ГЭС осуществлялось в установленном порядке, в соответствии с проектом Мосгидэпа – генерального проектировщика гидроузла. К наиболее серьезным нарушениям, зарегистрированным при строительстве гидроузла, относятся отступления от проекта, допущенные при возведении русловой плотины:

* не удален аллювий (толщиной до 2-х м) под основанием плотины и плотина намыта на фильтрующее основание;
* не выполнен бетонный зуб, перекрывающий аллювиальный слой и и сопрягающий цементационную завесу с ядром плотины;
* не выдержаны размеры и состав ядра плотины, нет четкой границы между ядром и боковыми призмами: выше отметки 137, 00 возведение плотины продолжалось сухой отсыпкой негабаритным камнем, щебнем, гравийно-галечной смесью;
* намыв между отметками 126, 00 и 132, 00 проводился в зимнее время и выполнен некачественно;
* искажены проектные очертания откосов плотины, низовой откос недосыпан.

Кроме того,

* + Не оформлена рисберма отводящего канала.
	+ Не укреплен левый берег отводящего канала.
	+ Перед затоплением котлована не разобрана низовая перемычка.

В соответствии с уточненным сейсмическим районированием основные сооружения Павловской ГЭС попадают в зону пятибалльного землетрясения, проект был выполнен без учета сейсмического воздействия.

В средней части русловой грунтовой плотины на отметке 110, 00 отмечается ряд сосредоточенных выходов фильтрационных вод.

В процессе эксплуатации имели место отдельные случаи нарушений (см. раздел 5 «Сценарии возможных аварий»). [13, с. 29, 39-41].

4. Сейсмоустойчивость ГТС

Район расположения гидротехнических сооружений Павловской ГЭС отнесен к зоне пятибалльного землетрясения в соответствии с уточненным сейсмическим районированием. Поскольку основные сооружения Павловской ГЭС построены без учета сейсмического воздействия на них, а также учитывая тот факт, что при мощном сбросе воды из водохранилища в нижний бьеф существует возможность спровоцировать «местные» землетрясения силой 1-2 балла, необходимо рассмотреть сейсмоустойчивость ГТС.

4.1 Воздействие землетрясения на поверхность земли и некоторые инженерные сооружения

Общее действие землетрясений различной степени балльности на поверхность земли и некоторые инженерные сооружения следующее:

6 баллов. В немногих случаях оползни, на сырых грунтах возможны видимые трещины шириной до 1 см, в горных районах отдельные случаи оползней. Возможны изменения дебита источников и уровня воды в колодцах.

7 баллов. В отдельных случаях оползни проезжей части дорог на крутых склонах и трещины на дорогах. Нарушения стыков трубопроводов. В отдельных случаях изменения дебита источников и уровня воды в колодцах. В немногих случаях возникают новые или пропадают существующие источники воды. Отдельные случаи оползней на песчаных или гравелистых берегах рек.

8 баллов. Небольшие оползни на крутых откосах выемок и насыпей дорог, трещины в грунтах достигают нескольких сантиметров. Возможно возникновение новых водоемов. Во многих случаях изменяется дебит источников и уровень воды в колодцах. Иногда пересохшие колодцы наполняются водой или существующие иссякают.

9 баллов. Значительные повреждения берегов искусственных водоемов, разрывы частей подземных трубопроводов. В отдельных случаях – искривление рельсов и повреждение проезжих частей дорог. На равнинах наводнения: часто заметны наносы песка и ила. Трещины в грунтах достигают 10 см, а по склонам и берегам – свыше 10 см. Кроме того, большое количество тонких трещин в грунтах. Частые оползни грунтов, обвала горных пород. На поверхности воды большие волны.

10 баллов. Опасные повреждения плотин и дамб. Серьезные повреждения мостов. Искривление железнодорожных рельсов. Разрывы или искривления подземных трубопроводов. Дорожные покрытия и асфальт образуют волнообразную поверхность.

Трещины в грунте шириной несколько десятков сантиметров и в некоторых случаях до одного метра. Параллельно руслам водных потоков появляются широкие разрывы. Осыпание рыхлых пород с крутых склонов. Возможны большие оползни на берегах рек и крутых морских побережьях. В прибрежных районах перемещаются песчаные и илистые массы. Выплескивание воды в каналах, озерах, реках. Возникновение новых озер.

11 баллов. Серьезные повреждения мостов, плотин и железнодорожных путей. Шоссейные дороги приходят в негодность. Разрушение подземных трубопроводов.

Значительные деформации почвы в виде широких трещин, разрывов и перемещений в вертикальном и горизонтальном направлениях. Многочисленные горные обвалы.

12 баллов. Изменение рельефа местности. Сильное повреждение или разрушение практически всех наземных и подземных сооружений. Радикальное изменение земной поверхности. Наблюдаются значительные трещины в грунтах с обширными вертикальными и горизонтальными перемещениями. Горные обвалы и обвалы берегов рек на больших площадях. Возникают озера, а иногда и водопады. Изменяются русла рек.

При землетрясениях интенсивностью 8 и более баллов возможно возникновение пожаров, поскольку разрушаются печи, падают бытовые нагревательные приборы и происходит замыкание электропроводки. Особенно опасно образование искр от ударов или коротких замыканий в нефте- и газохранилищах.

Вторичные пожары возникают в результате повышенной плотности застройки городов, нарушения или отсутствия системы тушения пожаров, большого количества сгораемых материалов в конструкциях зданий, паники населения и неблагоприятной погоды.

Риск массовых пожаров может быть значительно снижен при заблаговременном оборудовании на объектах резервуаров с водой и современных насосных установок с электропитанием от передвижных электростанций. За рубежом практикуется применение резервуаров с водой под улицами вблизи пожароопасных объектов.

Количество вторичных пожаров при высокой плотности застройки города сгораемыми зданиями может во много раз повысить число первичных пожаров. При этом убытки от пожаров могут намного превысить убытки от механических повреждений и разрушений. [11, с. 24-26]

4.2 Наиболее распространенный характер повреждений плотин из грунтовых материалов при воздействии землетрясения

Наиболее характерный и распространенный вид повреждений – оползания откосов. Формы правления повреждения этого вида различны и зависят от особенностей конструкции и размеров сооружения, типа основания, характера сейсмического воздействия.

Учитывая накопленный опыт, все повреждения откосов целесообразно разделить на два типа:

* первый, когда при подвижках материала откосов возможность возникновения явления разжижения исключена;
* второй, при котором она существует и проявляется при землетрясениях.

Первый тип повреждений наиболее распространен. Повреждения низовых призм, в которых поровая вода либо отсутствует, либо имеет весьма низко расположенную кривую депрессии, всегда происходят по первому типу, независимо от крупности слагающих призму материалов. К этому же типу относятся повреждения верховых призм, если они сложены в пределах активной зоны крупнообломочным материалом, или имеют верховой экран и неводонасыщены.

Повреждения второго типа (до полного разрушения) более редки и имеют место только в верховых откосах, если они сложены мелкозернистым водонасыщенным материалом, при потере устойчивости структуры которого явление разжижения возникает.

Обрушение или оползание откосов, как правило, начинается с образования продольных трещин, с появлением которых сопротивление сдвигу боковых призм снижается. Наиболее типичными примерами повреждений плотин из грунтовых материалов из практики последних лет являются повреждения земляной плотины Чир-Юртской ГЭС (быв. СССР) высотою 37,5 м, спроектированной на 7 баллов по действовавшим тогда СН – 8 – 57 (8-ми балльное землетрясение 14 мая 1970 г.);

повреждения плотины Лоуэр Сан-Фернандо (США) высотою 43 м с проверенной расчетом сейсмостойкости (землетрясение 9 февраля 1971 г.).

Следует заметить, что каменно-набросные и каменно-земляные плотины обладают значительно более высокой сейсмостойкостью, чем земляные. Большие плотины этих типов более чем в 25 случаях испытали сильные землетрясения (8-9 баллов по шкале ММ) и ни одна из них не получила существенных повреждений, хотя незначительные в ряде случаев наблюдались.

Также, во многих источниках отмечается, что плотины из грунтовых материалов на нескальных основаниях обладают меньшей сейсмостойкостью, чем возведенные на скальных. Сильных повреждений в результате землетрясений земляные плотины на скальных основаниях обычно не получают, тогда как случаи значительных повреждений плотин, построенных на мягких грунтах, многочисленны (в виду большой деформируемости нескального основания).

Особым видом повреждений плотин из грунтовых материалов является разрушение водопропускных устройств. Примером аварии, связанной с разрушением этого вида, является авария на плотине Тарбела высотой 145 м (Пакистан, 7-ми балльное землетрясение).

Кроме повреждений, отмеченных выше, имеются другие примеры разрушений, встречающихся при землетрясениях менее часто:

* осадки оснований из оттаявших грунтов, например, крупное землетрясение в мае 1964 г. вызвало оседание незамерзающих ледниковых отложений, составляющих подстилающий слой плиты водослива земляной плотины Эклуфа (США), в результате под этой частью плотины образовалась каверна;
* разрушение плотин после образования трещин и последующего быстрого размыва тела плотины; такие разрушения, например, имели место в плотинах Колеман, Роджерс, Болдуин Хилз.

4.3 Повреждения бетонных плотин

Воздействие землетрясений различной интенсивности испытали более 100 плотин и гидротехнических сооружений из бетона. Известны лишь 15 случаев повреждений этих сооружений, причем более половины из них получили повреждения в виде трещин. Повреждения бетонных плотин наблюдаются лишь от землетрясений интенсивностью 7 баллов и более. Несколько водопропускных сооружений, небольшие плотины из каменной кладки, располагающиеся на мягких грунтах, были полностью разрушены сильными землетрясениями.

В общем случае наибольшей повреждаемостью обладают низкие сооружения высотой до 20 м, а также контрфорсные плотины (три из восьми были повреждены). Наиболее сейсмостойкими оказались бетонные гравитационные и арочные плотины, испытавшие сильные землетрясения интенсивностью 8-9 баллов, но не получившие значительных повреждений.

В ряде случаев землетрясения были вызваны заполнением водохранилищ (возбужденная сейсмичность), например, контрофорсная плотина Хсинфенгкьнг (КНР) – землетрясение с магнитудой 6,1.

Наиболее сильные повреждения среди высоких плотин были получены плотиной Койна (Индия), испытавшей воздействие ряда землетрясений при наполнении водохранилища.

Повреждения разделяются в основном по следующим видам:

* видимые трещины (через трещины на различных уровнях плотины происходит сильная фильтрация);
* повреждения и разрушения устройств (трещины на водосливе, башне, деформационных швах и др.);
* местные выкрашивания и дробление бетона. [16, с. 5-21]

4.4 Плотины, испытавшие сейсмическое воздействие

Самые крупные и известные плотины, испытавшие сейсмическое воздействие, а некоторые и являющиеся причиной землетрясения, можно представить в таблице 4.4.1.[16, 17]:

Таблица 4.4.1.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название плотины, страна | Объем водохранилища, куб. км | Высота (макс. глубина), м |
| Койна, Индия | 2,78 | 103 |
| Кариба, Замбия | 175 | 128 |
| Кремаста, Греция | 4,75 | 120 |
| Мид, США | 35 | 142 |
| Талбинго, Австралия | 0,935 | 162 |
| Хендрик - Фервурд, Южная Африка | 5 | 66 |
| Вайонт, Италия | 150 млн. куб. м | 266 |
| Монтэнар, Франция | 275 млн. куб. м | 130 |
| Гран-Валь, Франция | 292 млн. куб. м | 78 |
| Нурекская ГЭС, СССР | 11 | 250 (300) |
| Куробе, Япония | 149 млн. куб. м | 180 |
| Уэд-Фодда, Алжир | 225 млн. куб. м | 89 |
| Бенмор, Нов. Зеландия | 2,04 | 96 |

4.5 Сейсмостойкость гидротехнических сооружений

В вопросе сейсмостойкости особое внимание следует уделять плотинам. Это объясняется следующими причинами:

особой важностью плотин, являющихся главнейшим средством управления реками, аккумуляции водной энергии, а также направления воды для целей водоснабжения, орошения и обводнения;

большим объемом материальных и денежных затрат на постройку плотины;

громадной ответственностью такого сооружения, поскольку его разрушение может принести ущерб ниже расположенным населенным пунктам, промышленным предприятиям и сельскохозяйственным угодьям.

Кроме того, опыт разрушительных землетрясений показал, что сооружения типа плотин, построенные без учета сейсмического фактора, нередко подвергались частичному или полному разрушению.

Основные принципы сейсмостойкого строительства.

При землетрясении частицы грунта движутся в пространстве по сложной траектории и в сооружении возникают инерционные силы, величина и направление действия которых резко меняются во времени. По той же причине деформации сооружения и его элементов могут носить сложный характер. В самом деле, при указанных условиях сооружение может претерпевать совокупность деформаций осевого растяжения, сжатия, изгиба, сдвига и кручения. Помимо этого, соответствующие усилия действуют динамически, т.е. возникают толчкообразные и колебательные движения сооружения в целом и его элементов.

Анализ данных о поведении зданий и сооружений при разрушительных землетрясениях указывает на целесообразность соблюдения ряда принципов сейсмостойкого строительства.

Ввиду динамического характера сейсмического воздействия (внезапное приложение усилий и знакопеременность действия их при колебаниях сооружения) рекомендуется возводить сооружения из достаточно прочных и монолитных материалов. С целью демпфирования сейсмических толчков отдается предпочтение материалам, которые, кроме того, в той или иной степени обладают пластическими свойствами. Для уменьшения сейсмических инерционных нагрузок рекомендуется применять материалы с малым объемным весом.

Большое значение имеет также однородность материала, т.к. в местах контактов материалов, обладающих различными физико-механическими свойствами, или в местах нарушения сплошности материала происходит расслоение тела сооружения при сейсмических воздействиях.

Поскольку сооружение и его элементы, в том числе всякие выступы сооружения в плане, плохо сопротивляться крутящим усилиям, следует стремиться проектировать сооружение так, чтобы массы в нем были распределены симметрично относительно центра тяжести всего сооружения, что практически в известной мере достигается упрощением формы сооружения в плане (приближением к форме квадрата). Если достигнуть этого трудно, то рекомендуется разбивать сооружение на отдельные отсеки, имеющие указанное выше простейшее очертание в плане.

Всякие горизонтальные усилия, в том числе сейсмические, распределяются между отдельными несущими элементами сооружения или здания (опоры моста, контрфорсы в железобетонных плотинах, поперечные стены и простенки каменных зданий и т.п.) пропорционально их жесткости. Следовательно, во избежание перегрузки отдельных элементов сооружения необходимо проектировать его так, чтобы в отношении жесткости его элементы не отличались резко друг от друга.

Всякое сооружение представляет собой пространственную систему, часто состоящую из связанных между собой более простых несущих элементов. Поэтому для обеспечения сохранности сооружения при землетрясении важно обеспечить прочность связей, например, сопряжений между капитальными стенами каменного здания. Кроме того, следует стремиться к тому, чтобы связи для смягчения динамического воздействия землетрясения обладали пластическими свойствами.

В соответствии с указанными принципами целесообразно при проектировании и разработке технологии строительного производства предусматривать ряд антисейсмических мероприятий.

Необходимая прочность и монолитность материала, например, каменной кладки, достигается применением прочных камней правильной формы, при тщательном соблюдении правил перевозки, с использованием растворов, обладающих хорошим сопротивлением нормальному и тангенциальному воздействиям. Предусматривают меры против образования в швах кладки усадочных трещин, для придания раствору пластичности в него вводят специальные добавки.

Для достижения однородности строения тела сооружения стремятся применить один и тот же материал в пределах каждого отсека сооружения, обеспечивать необходимую перевязку, например, нового бетона со старым в швах бетонирования сооружения. Чтобы обеспечить сохранность связей между несущими элементами (например, между стенами каменных зданий), армируют углы здания путем укладки стальных стержней в горизонтальных швах кладки. Для разбивки здания или сооружения на отдельные отсеки в плане устраивают антисейсмические швы, совмещенные с осадочными и температурными швами.

В целях обеспечения оптимальной пространственной жесткости рекомендуется между несущими элементами делать проемы и простенки одинаковой ширины, а поперечные стены – сквозными, располагая их, по возможности, на равных расстояниях друг от друга. Для равномерного распределения сейсмических усилий между несущими элементами здания рекомендуется перекрытия делать монолитными и жесткими в такой мере, чтобы они представляли собой неизменяемые горизонтальные диафрагмы.

Обеспечение прочности и, в известной мере, пластического деформирования сопряжений стен здания достигается, кроме того, устройством замкнутых железобетонных антисейсмических поясов, укладываемых по всему периметру капитальных стен. Наконец, требуется замоноличивание сборных железобетонных конструкций, что можно осуществить путем укладки в стыках специальных стержней арматуры или закладных стальных частей с последующим соединением их петлями или электросваркой; при этом должна быть обеспечена равнопрочность сечения сборного элемента и стыка замоноличивания.

Сейсмические нагрузки на гидротехнические сооружения.

Сейсмические нагрузки на гидросооружения можно разделить на следующие:

* сейсмические инерционные нагрузки;
* сейсмическое давление воды на напорную грань сооружения (плотина, перемещаясь при землетрясении в сторону верхнего бьефа, будет встречать сопротивление воды и тем самым испытывать давление гидродинамического характера);
* сейсмическое давление грунта на сооружения типа подпорной стенки (сейсмические инерционные силы, возникающие в грунте засыпки в связи с возникновением активного давления на стенку);
* сейсмическое давление воды в напорном сооружении

Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости земляных плотин.

Земляные плотины находят широкое применение в сейсмических районах главным образом вследствие возможности использования местных строительных материалов, а также механизации строительного производства.

Для обеспечения сейсмостойкости плотины необходимо, кроме осуществления расчета ее на сейсмостойкость, предусмотреть специальные мероприятия в части ее конструкции и технологии строительных работ, что возможно путем рассмотрения физической картины воздействия землетрясения и анализа эмпирических данных. [18, с. 24-150]

Так как плотины гидротехнических сооружений Павловской ГЭС являются грунтовыми, то о мероприятия по обеспечению сейсмоустойчивости земляных плотин буду подробно рассмотрены в разделе 7.

Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости плотин из каменной наброски и кладки насухо.

Набросные плотины имеют много общего с земляными с точки зрения конструкции, а также условий работы, поэтому некоторые антисейсмические мероприятия для земляных плотин сохраняют силу и в отношении каменно-набросных плотин. Однако специфичность материала таких плотин требует несколько иного подхода к вопросу обеспечения их сейсмостойкости. [18, с. 24-150].

Грунтовые плотины гидротехнических сооружений Павловской ГЭС выполнены с каменной наброской, поэтому мероприятия по обеспечению сейсмостойкости плотин из каменной наброски и кладки насухо будут более подробно рассмотрены в разделе 7.

Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости бетонных гравитационных плотин.

Бетонные гравитационные плотины находят в настоящее время широкое применение вследствие того, что сейсмически активные зоны, как правило, приурочены к горным местностям, а для более или менее высоких гравитационных плотин требуется скальное основание.

При проектировании гравитационных плотин, возведенных из бетона, важной особенностью будет тот факт, что учет сейсмического фактора будет заключаться в повышении тех требований, которые предъявляются к прочности и устойчивости гравитационных плотин.

Для данного вида плотины приобретает особое значение тщательность работ по подготовке основания с целью повышения устойчивости сооружения на сдвиг (снятие выветренного слоя скалы, тщательная очистка поверхности основания перед бетонированием плотины и т.п.).

Прямое отношение к задаче обеспечения сейсмостойкости гравитационной плотины имеют также мероприятия конструктивного и технологического характера,предотвращающие неблагоприятное влияние на прочность плотины усадочных и температурных усилий: устройство конструктивных швов, охлаждение бетона в процессе его твердения и т.п.

Всякое отверстие в теле гравитационной плотины, имеющее более или менее значительные размеры и расположенное в периферийной зоне ее поперечного сечения, могут стать причиной возникновения трещин в теле плотины при концентрации высоких сейсмических напряжений. Поэтому необходимо принять меры по приданию этим отверстиям плавного очертания и армированию бетона в зоне влияния местных напряжений.

Мероприятия по обеспечению сейсмостойкости железобетонных и бетонных контрфорсных плотин.

В районах с высокой сейсмической активностью могут найти применение и контрфорсные плотины, которые, являясь одним из экономичных типов плотин, позволяют вести строительные работы индустриальными методами с применением сборных железобетонных элементов.

Так же как в случае гравитационных плотин, следует придать плавное очертание отверстиям, устраиваемым в контрфорсах, а материал контрфорса усилить специальным армированием в зоне концентрации напряжений. Примером того, что такая мера обоснована, может служить плотина Бек-Ходжес (США), в контрфорсах которой возникали трещины даже в обычных условиях эксплуатации.

Сохраняют силу также ряд остальных антисейсмических мероприятий, указанных для гравитационных плотин.

Сейсмостойкость арочных плотин.

У арочных плотин существует ряд положительных сторон для обеспечения сейсмостойкости:

* монолитность и компактность всей конструкции
* высокая прочность применяемого материала
* безупречность основания и бортов плотины.

Для примера можно привести сохранность арочной бетонной плотины Корфино в Италии, подвергшейся разрушительному землетрясению. Однако указанная плотина характеризуется небольшой высотой (40 м) при небольшом радиусе кривизны арки (23,5 м). Поэтому для обеспечения сейсмостойкости современных арочных плотин не достаточно лишь произвести расчет их на действие сейсмических нагрузок (сейсмического давления воды и инерционных сил), а также необходимо осуществление специальных мероприятий (указанных выше). [18, с. 24-150]

5. Сценарии возможных аварий

5.1 Сведения об имевших место аварийных ситуациях на гидроузле и ходе выполнения неотложных (противоаварийных) работ

Согласно [13, с. 44], «на протяжении всего периода эксплуатации Павловской ГЭС аварий и аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях не было, но случались ситуации, квалифицированные как нарушения (близкие к аварийным)».

В 1959 году, когда предприятие вступило в начальный период эксплуатации, выход воды на низовой откос русловой плотины на отметках 121,00 – 122,00.

Наращено ядро плотины в 1964 году, достигнута локализация негативных процессов и последствий.

В 1960 году обнаружена сильная фильтрация по плохо проработанным строительным швам здания ГЭС.

Произведена инъекция трещин цементом и карбомидной смолой.

В 1959 и 1970 гг. произошел размыв дна отводящего канала за зубом водобоя из-за неоформления рисбермы.

Уложены бетонные тетраэдры, весом 15 т каждый, в количестве 442 штук. Проводимые в процессе эксплуатации ремонтно-восстановительные работы не сняли создавшуюся проблему в целом.

Примечание. Более полная информация по имевшим место нарушениям на ГТС Павловской ГЭС и сведения о планировавшихся и невыполненных мероприятиях, направленных на обеспечение безопасности ГТС приведены в «Акте обследования ГТС Павловской ГЭС» [14] и «Справке о состоянии ГТС Павловской ГЭС ОАО «Башкирэнерго»[21]».

5.2 Сценарии возможных аварий на гидроузле с оценкой уровня риска различных сценариев аварий и уровня безопасности объекта в целом

Основные положения методики оценки уровня риска различных сценариев аварий и уровня безопасности объекта.

Для оценки уровня риска и общего уровня безопасности объекта была применена, разработанная в 1997 году ОАО «НИИЭС», Методика оперативной оценки безопасности гидротехнических сооружений, находящихся в длительной эксплуатации.

Основные положения Методики сводятся к выполнению следующих этапов формализованной оценки безопасности ГТС:

1. определению состава объектов ГТС, для которых осуществляется оценка уровня безопасности и соответствующих «сценариев» возможных аварий;
2. определению набора факторов безопасности, соответствующих выбранным «сценариям»;
3. уточнению иерархической структуры фактора безопасности;
4. назначению ранжированных оценок факторов безопасности;
5. выбору метода учета взаимовлияния факторов безопасности, в том числе расчетных формул, применяемых на разных уровнях иерархической структуры факторов безопасности;
6. оценке уровня безопасности отдельных объектов и ГТС в целом;
7. анализу полученных результатов, корректировке (в случае необходимости) обнаруженных неточностей и повторению процедуры формализованной оценки безопасности ГТС.

Для оценки уровня безопасности I Методикой предусмотрен учет двух основных групп факторов безопасности, характеризующих:

* + состояние эксплуатируемого ГТС (фактор I1);
	+ ущерб от возможной аварии или разрушения ГТС (фактор I2).

Эти две группы факторов безопасности в последующем разбиваются на более низкие уровни иерархии, включающие в себя:

* + - фактор I1.1, характеризующий изменения нормативных оценок состояния ГТС и ранжируемой непосредственно на факторы а1(а1.1-а1.4), а2(а2.1-а2.4) и а3(а3.1-а3.5);
		- фактор I1.2, учитывающий отклонения конструктивных показателей состояния и условий эксплуатации ГТС от требований ПТЭ и ранжируемой на факторы а4(а4.1-а4.3), а5(а5.1-а5.14) и а6(а6.1-а6.21);
		- факторы а7-а9, входящие в состав группы I2 и характеризующие ущерб от возможной аварии или разрушения ГТС.

Для осуществления комплексного учета вышеперечисленных факторов безопасности (итоговой оценке уровня безопасности ГТС) предусмотрено приведение их к единому масштабу на основе ранжирования по единой шкале, значения которой изменяются от 0 до 6 (см. таблицы 5.2.1. и 5.2.2).

Таблица 5.2.1.

Ранжирование уровня безопасности ГТС (фактор I), факторов I1, I2, I1.1 и I1.2.

|  |  |
| --- | --- |
| Количественная шкала | Качественные значения факторов |
| I | I1 | I2 | I1.1, I1.2 |
| 0<=I< | Нормальный | Работоспособное | Малый | Отсутствует |
| 1<=I<2 | Нормальный | Работоспособное | Малый | Незначительные |
| 2<=I<3 | Нормальный | Работоспособное | Малый | Слабые |
| 3<=I<4 | Предельно-допустимый | Предельно-допустимое | Большой | Средние |
| 4<=I<5 | Предельный | Предаварийное | Очень большой | Сильные |
| 5<=I<6 | Недопустимый | Аварийное | -- | Очень сильные |

Таблица 5.2.2.

Ранжирование факторов группы I1.1 (а1-а3) и группы I1.2 (а4-а6).

|  |  |
| --- | --- |
| Количественная шкала | Качественные значения факторов |
| а1 | а2 | а3 | а4 | а5 | а6 |
| 0<=a<1 | Полное | Очень низкая | Отсутствует | Полное | Полное | Отсутствуют |
| 1<=a<2 | Практически полное | Низкая | Незначитель-ное | Практически полное | Практически полное | Незначитель-ные |
| 2<=a<3 | Приемлемое | Низкая | Слабое | Приемлемое | Приемлемое | Слабые |
| 3<=a<4 | Предельно-допустимое | Средняя | Среднее | Предельно-допустимое | Предельно-допустимое | Средние |
| 4<=a<5 | Предельное | Средняя | Сильное | Предельное | Предельное | Сильные |
| 5<=a<6 | Несоответствие | Высокая | Очень сильное | Несоответствие | Несоответствие | -- |

Примечание. Значения (а4 или а5)<3 соответствуют условиям непревышения предельно-допустимых значений (ПДЗ) контролируемых показателей состояния ГТС, тогда как значения (а4 или а5)<5 – условиям непревышения их критических значений (КЗ). Превышение ПДЗ и КЗ свидетельствует о наступлении предельно-допустимого и аварийного состояния, соответственно.

Таблица 5.2.3.

Ранжирование факторов группы I2 (a7-a9).

|  |  |
| --- | --- |
| Количественная шкала | Качественные значения факторов |
| а7 | а8 | а9 |
| 0<=a<1 | Незначительные | Необжитая зона | Отсутствуют |
| 1<=a<2 | Малые  | Изолированная зона, сельское хозяйство | Практически отсутствуют |
| 2<=a<3 | Средние | Малые города, сельское хозяйство | Малые |
| 3<=a<4 | Большие | Средние города, небольшая промышленность | Средние |
| 4<=a<5 | Очень большие | Большие города, промышленность, ядерные установки | Большие |

Не исключается применение вышеприведенной формулы на других уровнях принятой иерархической системы факторов безопасности. Также ее рекомендуется использовать и для учета взаимовлияния «независимых» факторов безопасности.

При использовании результатов инструментальны измерений показателей состояния ГТС ранжирование факторов безопасности а4 рекомендуется выполнять в соответствии с таблицей.

Таблица 5.2.4.

Ранжирование оценок факторов группы а4 по результатам инструментальных измерений.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Количественная шкала оценки факторов а4 | Качественная оценка факторов а4 | Значения контролируемых показателей состояния ГТС |
| a<=1 | Полное соответствие | (Yi-Ynp) < |
| 1<=a<2 | Практически полное соответствие |  <= (Yi-Ynp) <1,5  |
| 2<=a<3 | Приемлемое соответствие | 1,5 <=(Yi-Ynp) < 2  |
| 3<=a<4 | Предельно-допустимое соответствие |  <=(Yi-Ynp) < 2,5 |
| 4<=a<5 | Предельное | 2,5 <=(Yi-Ynp) < 3 |
| 5<=a<6 | Несоответствие | Yi>= Ymax или (Yi-Ynp) > 3 |

Принятые обозначения:

Yi – измеренное значение показателя состояния ГТС;

Ynp – прогнозируемое значение показателя состояния;

Ymax – максимальное наблюденное значение показателя состояния;

 - среднее квадратичное отклонение измеренных значений от прогнозируемых.

Методику рекомендуется применять в полном объеме при оценке уровня безопасности ГТС первого и второго классов.

Описание сценария возможной аварии по Павловскому гидроузлу.

В этой части декларации рассматривается сценарий возможного локального разрушения русловой или левобережной плотины.

Сценарий. Локальное разрушение русловой или левобережной плотины.

Условия, причины и сценарий развития:

* прохождение паводка с обеспеченностью от 1% до 0,1%;
* неполная готовность механического оборудования к пропуску паводка;
* заполнение водохранилища выше отметки ФПУ = 142,00;
* перелив воды через гребень плотины;
* размыв гребня и низового откоса плотины, образование прорана.

Оценка уровня риска и уровня безопасности объекта по сценарию аварии.

Согласно вышеизложенной Методике в состав факторов безопасности ГТС по сценарию включены факторы а1.2, а1.4 и а 6.9, по которым в соответствии с таблице 2 устанавливаются следующие качественные и количественные показатели:

Таблица 5.2.5.

Качественные и количественные показатели факторов безопасности по сценарию аварии.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| №№ п.п. | Фактор | Описательная характеристика фактора безопасности | Качественное значение фактора | Количественное значение фактора |
| 1 | а1.2 | Изменения, принятые в проекте конструктивно-компоновочных решений. Наращивание ядра русловой плотины методом буробетонных свай, усиление низового откоса. | Приемлемое соответствие | 2,5 |
| 2 | а1.4 | Наличие ошибок, допущенных в процессе строительства. Занижена отметка ядра русловой плотины. | Приемлемое соответствие | 2,5 |
| 3 | а6.9 | Планируемые объемы ремонтных работ достаточны для поддержания ГТС в работоспособном состоянии.Фактическая реализация ремонтных работ сдерживается из-за финансовых возможностей ОАО "Башкирэнерго" | Незначительные нарушения | 1,5 |

В соответствии с этой таблицей и расчета по формуле, приведенной в Методике, оценка факторов а1 принимается равной 2,8.

Итоговая оценка фактора I1.1, характеризующего изменения нормативных оценок состояния ГТС, принимается равной значению фактора а1=2,8, как единственному в поддиапазоне 3<=a<4.

Итоговая оценка фактора а6 принимается равной значениям а6.9=1,5.

Количественное значение фактора I1.2, характеризующего отклонения контролируемых показателей ГТС и условий его эксплуатации от требований ПТЭ, принимается равным значению фактора а6=1,5.

Количественное значение фактора I1, характеризующего состояние ГТС, принимается равным значению фактора I1.1=2,8.

В соответствии с Методикой фактор I2, характеризующий возможный ущерб от аварии, не подлежит обязательному учету для сооружений II класса.

Таким образом, уровень безопасности грунтовой плотины I принимается равным I1=2,8 и характеризуется как нормальный (согласно Методике). [13, с. 44-52].

6. Оценка величины ущерба

Согласно ФЗ «О безопасности ГТС»:

«Собственник ГТС или эксплуатирующая организация несет ответственность за безопасность ГТС (в том числе возмещает в соответствии со статьями 16, 17 и 18 настоящего Федерального закона ущерб, нанесенный в результате аварии ГТС) вплоть до момента перехода прав собственности к другому физическому или юридическому лицу либо до полного завершения работ по ликвидации ГТС».

6.1 Информация об изменении проектных условий ответственности энергообъекта за причинение вреда (ущерба) в случае аварии на гидроузле

Как отмечалось выше (см. подраздел 3.1), проектирование Павловского гидроузла выполнялось исходя из требований комплексного использования водных ресурсов реки Уфы, перспективного развития энергопотребления, водоснабжения и судоходства.

За длительный период эксплуатации ГЭС произошли значительные изменения проектных условий ответственности энергообъекта – продолжался рост города Уфы, вводились его хозяйственные и промышленные объекты, отмечался рост водопользователей и водопотребителей, а также потребителей электрической энергии.

Учитывая вышеизложенное можно заключить, что аварии на гидроузле при современных условиях ответственности ГЭС чреваты серьезными последствиями. При этом, в случае аварии на водосливе, в опасной зоне может оказаться весь обслуживающий персонал ГЭС, включая охрану (данные по штатному расписанию ГЭС приведены в подразделе 2.1) и ее развитие не исключает человеческих жертв в зоне распространения волны прорыва, которое может составить, согласно [13, с. 43], 500 м и более (в зависимости от условий аварии, масштаба разрушений и действий станционного персонала). [13, c.42-44].

Ниже створа водоподпорных сооружений головного узла, в 5-10 км от створа расположены населенные пункты Красный Ключ, Нижняя Павловка, Яман-Елгинский ЛПХ, Кировка.[13, c. 30].

6.2 Оценка величины ущерба от аварии на Павловском гидроузле, произошедшей согласно сценарию возможной аварии

Согласно п. 7.2.3 Декларации безопасности ГТС Павловской ГЭС [13, с. 50-53], возможный ущерб от аварии, сценарий которой приведен в п. 7.2.2 этой же Декларации безопасности ГТС Павловской ГЭС, не подлежит обязательному учету для сооружений II класса.

6.3 Финансовое (имущественное) обеспечение гражданской ответственности за причинение вреда (ущерба) в случае аварии на гидроузле

Договора страхования Павловской ГЭС на случай ущерба от стихийного бедствия не имеется, в связи с отсутствием нормативно-технической документации по определению ущерба и страхования гидротехнических сооружений.

7. Технические решения, направленные на обеспечение безопасности и повышение сейсмоустойчивости

7.1 Мероприятия по проведению ремонтных, реконструктивных и других работ, направленных на обеспечение надежности и безопасности ГТС

Согласно [21, с. 11-13], после обследования ГТС Павловской ГЭС в 1998 году были предложены следующие рекомендации для обеспечения безопасности объекта:

1. Продолжить ремонтные работы по восстановлению бетонных поверхностей бычков нижнего бьефа и подпорных стенок отводящего канала.
2. Продолжить работы по инъекции фильтрующих участков бетона здания ГЭС.
3. Выявить пути фильтрационного потока по шву между зданием ГЭС и шлюзом.
4. Выполнить проект ремонта, а затем отремонтировать температурно-осадочные швы между блоками здания ГЭС.
5. Провести обследование автодорожного моста здания ГЭС со стороны верхнего бьефа с привлечением специализированной организации. Заказать проект и выполнить реконструкцию моста силами заинтересованных организаций.
6. Закончить работы по креплению левобережного откоса отводящего канала ГЭС.
7. Необходимо выполнить исследования вибрации элементов конструкций сооружений станции в новых условиях (после частичной модернизации и замены некоторых агрегатов).
8. Продолжить исследования состояния опорных конструкций генераторов.
9. В связи с тем, что срок эксплуатации сооружений более 40 лет, произвести многофакторные исследования всех напорных ГТС, в том числе шлюза, с оценкой прочности, устойчивости, эксплуатационной надежности, с привлечением специализированных организаций. Уточнить пропускную способность гидроузла.
10. Постоянно вырубать кустарник и деревья с низового откоса русловой плотины для обеспечения устойчивости и прочности откоса.
11. Провести обследование затворов с целью определения их несущей способности по фактическому состоянию.
12. Провести освидетельствование сороудерживающих решеток (при выводе агрегата на капитальный ремонт).
13. Дополнить паспорта оборудования и ГТС необходимыми сведениями о проведенных ремонтах, испытаниях и исследованиях.
14. Для обеспечения надежной эксплуатации по шлюзу необходимо:
	* закончить работы по усилению бетона стенок камер шлюза и уменьшению фильтрации, приостановленные в 1998 г. из-за отсутствия финансирования;
	* в связи с продолжающимся увеличением открытия;
	* завершить крепление дна подходного канала для предупреждения подмыва оголовка низового пирса шлюза.
	* Для обеспечения безопасности напорного фронта Павловского гидроузла произвести замену рабочих ворот верхней головы шлюза.

7.2 Мероприятия, направленные на обеспечение сейсмостойкости ГТС Павловской ГЭС

Согласно [18, 107-120], для обеспечения сейсмостойкости земляных и набросных плотин может быть рекомендован ряд мероприятий, одни из которых следует проводить только на этапе проектирования и начала строительства, а проведение других возможно в период эксплуатации ГТС.

1. Постройка плотины из разнородных грунтов с центральной противофильтрационной призмой пластичного типа (плотина с ядром) из суглинка или глинобетона, т.к. эти материалы трудно поддаются разрыхлению и трещинообразованию.
2. Расположение слагающих плотину грунтов такое, чтобы переход от одной разновидности грунтов к другой проходил постепенно, для предотвращения образования резких границ раздела.
3. Выравнивание мест резкого изменения каньона под плотиной плотным грунтом, либо путем особого уплотнения в верхней части (гребень) плотины тех же грунтов.
4. Пригрузка откосов плотины слоем каменной наброски из крупного гравия или связного грунта при мощности слоя не менее 2-3 т/кв. м для предотвращения значительного оседания и выпирания откосов при землетрясении. При расчетной сейсмичности района не более 7 баллов возможно использование в качестве пригружающего слоя бетонных плит.
5. Постановка у основания обоих откосов плотины невысоких ограждающих призм из каменной наброски, причем низовая призма одновременно будет дренажной (для предотвращения разрушения-растекания дамб и выдавливания оснований из водонасыщенных песчаных грунтов вследствие их разжижения).
6. В тех же целях, что и мероприятия п. 5, будут достаточно эффективными невысокие шпунтовые стенки.
7. Выполнение понура и экрана из глины, глинобетона или торфа так, чтобы они представляли собой сплошную конструкцию.
8. Максимально возможное избегание устройства в теле плотины водосбросных труб, галерей, сифонов и т.п.
9. Пригрузка каждого откоса слоем из наиболее крупноразмерных камней с тщательным заполнением пустот мелким камнем для набросных плотин (для ограничения деформаций).
10. Устройство невысоких упорных призм (у основания откосов каменной наброски) из кладки постелистых камней при сейсмичности 7 и 8 баллов и из бетона при сейсмичности 9 баллов. Это повышает устойчивость поверхностной толщи каменной наброски против оползания их по наклонной поверхности.
11. Увеличение пологости откосов каменно-набросного типа примерно на 10-20 % по сравнению с откосами, применяемыми без учета сейсмического фактора.
12. Уменьшение поперечных размеров ядра до пределов, допустимых по фильтрационным расчетам.
13. Подпорную стенку для массива каменной наброски следует выполнять либо из каменной кладки на прочном цементном растворе (в районе сейсмичностью 7 баллов), либо из бетона (при большей сейсмичности района).
14. Устройство шарнирного сопряжения экрана с противофильтрационным зубом.
15. Обеспечение сейсмической прочности и устойчивости стен и перекрытия дренажной галереи, устраиваемой в толще откоса каменно-набросной плотины:
	* назначение конструкции и размеров галереи с учетом увеличения давления наброски при сейсмических условиях;
	* выполнение перекрытий галерей из железобетона или армированного бетона.

Заключение

1. На основе литературного обзора (раздел 1 «Чрезвычайные ситуации, характерные для данного объекта») строительство и использование гидротехнических сооружений в народном хозяйстве существенно возросло (в РБ около 1,5 тысяч ГТС). За последние годы большая часть современных ГТС функционирует 20-30 лет (Павловский гидроузел – 40 лет), т.е. они входят в период «старения» и нуждаются в особом внимании. Кроме того, часть ГТС находится либо в аварийном состоянии, либо являются бесхозными, в результате чего возросло количество аварий на них.

Гидротехнические сооружения являются потенциально опасными объектами, чрезвычайные ситуации на которых могут привести к большим человеческим жертвам и значительному материальному ущербу.

1. Для расчета последствий чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях Павловской ГЭС, проведена оценка состояния сооружений и рассмотрено местоположение данного объекта. Показано, что некоторые сооружения Павловского гидроузла находятся в изношенном состоянии, допущены просчеты при строительстве гидроузла.

Сохраняется тенденция застройки нижнего бьефа гидроузла, продолжается рост города Уфы, находящегося на расстоянии 156 км от ГТС. Также ниже Павловской ГЭС расположено значительное количество крупных населенных пунктов, которые могут пострадать в результате аварии на ГТС.

На объекте имеется в наличии группа наблюдений за состоянием ГТС в количестве 3 человек, осуществляющая надзор за безопасностью ГТС в объеме и сроки удовлетворяющие требованиям руководящих документов, а также спасательная группа в количестве 50 человек.

1. Показано, что существует значительное количество уязвимых мест ГТС Павловской ГЭС. В основном это ошибки и отступления от проектных решений при строительстве, которые сделали эксплуатацию ГТС довольно затруднительной, а также не укреплен левый берег отводящего канала, не оформлена рисберма отводящего канала, проект постройки ГТС выполнен без учета сейсмического воздействия. Кроме того, необходимые ремонтные работы выполняются с опозданием вследствие плохого финансирования. В процессе эксплуатации имели место отдельные случаи нарушений.

Дан анализ вероятных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на гидросооружениях Павловской ГЭС, включающих субъективные и объективные данные (фильтрация воды в нижний бьеф, нарушения, допущенные при эксплуатации ГТС, землетрясения, оползни, паводки редкой повторяемости и другие).

1. Рассмотрены случаи аварий, возникающих в результате сейсмического воздействия на них, а также наиболее распространенный характер повреждений плотин из грунтовых материалов (какими являются плотины гидротехнических сооружений Павловской ГЭС) при воздействии землетрясения.

Показано, что при выполнении некоторых мероприятий, направленных на повышение сейсмостойкости гидротехнических сооружений, возможно практически полное исключение разрушения плотин в результате землетрясения.

1. Рассмотрен сценарий возникновения чрезвычайных ситуаций при использовании гидротехнических сооружений, а также расчет величины ущерба в результате реализации этого сценария.

Ущерб от наиболее вероятного сценария аварии на ГТС Павловской ГЭС не подлежит учету по «Методике оперативной оценки безопасности ГТС…» разработанной ОАО «НИИЭС» в 1997 г. и рекомендованной письмом от 27.01.98 г. №02-01-3-4/82 РАО «ЕЭС России» к использованию при составлении Декларации безопасности. Поэтому для расчета возможной величины ущерба от разрушения гидроузлов предложен другой сценарий (Приложение №2), который является менее вероятным, но приводящим к большому ущербу.

1. Предложена оценка возможной величины ущерба от аварии, произошедшей по наиболее вероятному сценарию. Показано, что в результате аварии на водосливе, в опасной зоне может оказаться весь обслуживающий персонал, включая охрану. Развитие этой аварии не исключает человеческих жертв в зоне распространения волны прорыва.

Показано, что договора страхования Павловской ГЭС на случай ущерба от стихийного бедствия не имеется.

1. Рассмотрены мероприятия, направленные на обеспечение безопасности и повышение сейсмостойкости. В частности, мероприятия по проведению ремонтных, реконструктивных и других работ, направленных на обеспечение надежности и безопасности ГТС и мероприятия, направленные на обеспечение сейсмостойкости ГТС Павловской ГЭС (сейсмостойкость земляных и набросных плотин).

Среди мероприятий, имеющих первостепенное значение, следуют:

* + закончить работы по креплению левобережного откоса отводящего канала ГЭС;
	+ продолжение ремонтных работ по шлюзу-водосбросу;
	+ модернизация и замена некоторых элементов контрольно-измерительной аппаратуры;
	+ выявление путей фильтрационных потоков;
	+ инъекция фильтрующих участков бетона здания ГЭС;
	+ по возможности предусмотреть мероприятия сейсмостойкости;
	+ предусмотреть договор страхования Павловской ГЭС на случай ущерба от стихийного бедствия и т.п.
1. В Приложениях рассмотрена Методика расчета параметров затопления при разрушении гидроузлов (программа «Волна 2.0»), разработанной ЦИЭКС, ВИА им. Куйбышева, ВНИИ ГОЧС от 1998 года.

Расчет по программе «Волна 2.0» проводился по наименее вероятному сценарию: паводок редкой повторяемости – аварийный сброс – землетрясение – оползень – разрушение плотины.

В результате разрушения образуется волна прорыва, которая вызывает «сильные» разрушения зданий и сооружений, расположенных ниже створа гидроузла. Таким образом, пострадают: пгт. Нуримановского района Павловка с населением 3,9 тыс. человек, пгт. Красный Ключ с населением 3,1 тыс. человек, районный центр Нуримановского района с. Красная Горка. Кроме того, «сильные», «средние» и «слабые» разрушения будут в следующих населенных пунктах:

Красный Ключ,

Ильинка,

Чандар,

Старобирючево,

Новобирючево,

Красная Горка,

Ахлыстино,

Укман,

Кляшево,

Новые Карашиды,

Шакша,

Дудкино,

Мкр. Сипайлово,

Район Сафроновской пристани,

другие мелкие населенные пункты

В общей сложности в зону затопления и зону прохождения волны прорыва попадают жители населенных пунктов, расположенных ниже гидроузла, в количестве около 140 000 человек. Время добегания волны прорыва: от 16 мин в близких к ГТС створах и до 8 часов. Возможность вывода и вывоза населения или материальных ценностей минимальна.

Литература

1. Коронкевич Н.И., Малик Л.К., Барабанова Е.А. Катастрофические затопления // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). - №10. – 1998 г.
2. Субботин А.С. Основы гидротехники. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976 г. – 368 с.
3. Реки Башкортостана под надежной защитой (интервью с руководителем Бельского бассейнового водного управления Владимира Горячева) // «Комсомольская правда» в Башкортостане от 26 октября 2001 г.
4. Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» от 23 июня 1997 г.
5. Белобородов В. Н. Предупреждение чрезвычайных ситуаций и повышение устойчивости функционирования организаций // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). - №7. – 1998 г.
6. Гинко С. С. Основы гидротехники. – Л.: Гидрометеоиздат, 1976г. – 368с.
7. Водохранилища / А. Б. Авакян, В. П. Салтанкин, В. А. Шарапов. – М.: Мысль, 1987г. – 325с. – (Природа мира).
8. Малик Л. К., Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А. Прогноз прохождения волны прорыва при повреждении гидроузлов // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - №2. – 1998 г.
9. Малик Л. К., Барабанова Е. А. Последствия спуска водохранилищ при повреждении плотин гидротехнических сооружений // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - №7. – 1998 г.
10. Тарабаев Ю. Н., Зотов Ю. М., Чагаев В. П., Шульгин В. Н. Инженерное обеспечение предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций при наводнениях. (Учебное пособие). – Новогорск, Академия гражданской защиты МЧС России, -2000 г.
11. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Кн. 1. / Под ред. К. Е. Кочеткова, В. А. Котляревского, А. В. Забегаева. М.: Изд-во Ассоциации строительных ВУЗов, 1995г.
12. Калустян Э. С. Статистика и причины аварий плотин // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. - №3. – 1997 г.
13. Декларация безопасности ГТС Павловской ГЭС. Утверждена 29 сентября 1999г. Регистрационный №51/2000 (Госэнергонадзор Минтопэнерго России). Срок действия до 29. 09. 2005 г.
14. Справка о состоянии гидротехнических соединений Павловской ГЭС АО «Башкирэнерго» от 13 июля 1998 г. – Приложение №1 к акту обследования гидротехнических сооружений Павловской ГЭС от 28 июля 1998 г.
15. Справка о техническом состоянии Павловского шлюза на 1 июля 1998 г. – Приложение №2 к акту обследования гидротехнических сооружений Павловской ГЭС от 28 июля 1998 г.
16. Савинов О. А., Сумченко Е. И. Сейсмические воздействия на ГТС. Вып. 1. Повреждения плотин при землетрясениях. М.: Информэнерго, 1976 г.
17. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М.: Мир, 1979 г. (1976, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam)
18. Напетваридзе Ш. Г. Сейсмостойкость гидротехнических сооружений. М.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1959 г.
19. Наводнения, связанные с разрушением гидротехнических сооружений. Методические указания к лабораторной работе по курсу «Природные стихийные явления» / Составитель Цвиленева Н. Ю. – Уфа, 1999г.
20. Общегеографический региональный атлас «Республика Башкортостан». Издание 1-е. М.: ЦВКФ им. Дунаева, 1999г.
21. Акт обследования гидротехнических сооружения Павловской ГЭС от 28 июля 1998 г. Утвержден зам. рук. Департамента госрегулирования и реформирования Минтопэнерго России.
22. Наука – Образование – Промышленность в решении экологических проблем. Материалы докладов международной научно – технической конференции 24-25 ноября 1999г. - Уфа: изд-во УГАТУ, 1999г.
23. План действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера Октябрьского района г. Уфы, 1996 г.
24. Авакян А. Б. Наводнения: причины, проблемы, защита // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). - №5, 1998 г.
25. Кривошлыков А. Л. Анализ и оценка обстановки – основа успешного предупреждения и ликвидации ЧС // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). - №8. – 1998 г.
26. Соколов Ю. И. Система оповещения и информирования населения о чрезвычайных ситуациях // Военные знания (библиотечка «ВЗ»). - №11. – 1998г.
27. Типовая инструкция по технической эксплуатации сооружений и водохранилищ малых ГЭС, введена в действие приказом концерна «Белэнерго» от 11.07. 2000 г. №116, - Минск, 2000г.
28. Рекомендации по обоснованию экологической безопасности создания ГЭС, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды республики Беларусь, - Минск, 2000г.
29. Борщ С. В., Мухин В. М. Метод прогноза возможного ущерба от наводнений (на примере Московской области) // Метеорология и гидрология, - №7. – 2000г.
30. Нежиховский Р. А. Наводнения на реках и озерах. – Л., Гидрометеоиздат, 1988 г., 184с.
31. Галин Р. А. Население Республики Башкортостан, - Уфа, 1998 г.
32. Башкортостан, краткая энциклопедия. Уфа: Научное издательство «Башкирская энциклопедия», 1996 г.
33. Сейсмические сооружения за рубежом (под ред. В. Н. Насонова). По материалам Ш–й международной конференции по сейсмостойкому строительству. М.: издательство литературы по строительству, 1968 г.
34. Промышленная микробиология: Учебное пособие для вузов по специальности «Микробиология» и «Биология» / З. А. Аркадьева, А. М. Безбородов, И. Н. Блохина и др., под общ. ред. Н. С. Егорова. М.: Высшая школа, 1989 г., 688 с.

Приложение №1. Методика расчета параметров затопления при разрушении гидроузлов (Программа «ВОЛНА 2»)

Назначение и возможности программы «Волна 2».

Программа «Волна 2» предназначена для прогнозирования масштабов затопления местности и характеристик волны прорыва при разрушении гидроузлов. Программа позволяет оценить последствия разрушения гидроузлов при использовании в работах по исследованию аварий и катастроф данного типа.

При вычислении программой «Волна 2» определяются параметры затопления местности – максимальные: глубина затопления, ширина затопления и скорость течения, время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва. Кроме того, в результате вычислений приводятся данные о максимальном расходе воды в створе, высоте волны (превышение уровня воды над уровнем бытового потока) и максимальная отметка затопления.

Подготовка исходных данных.

Решение поставленной задачи требует данные о гидроузле и местности, расположенной выше (водохранилище) и ниже по течению реки. Для этого местность разбивается на так называемые створы, то есть перпендикулярные сечения к направлению течения реки. В соответствующих сечениях определяются необходимые параметры, важнейшими из которых являются удаление от створа гидроузла, отметки горизонталей местности и расстояния между ними (см. соответствующие разделы справки). Для гидроузла и водохранилища важнейшими являются данные об объеме водохранилища, ширине и глубине водохранилища у плотины в нижнем бьефе. Эти данные можно взять из крупномасштабных карт местности и справочников.

Заключительной частью подготовки исходных данных является определение предполагаемых параметров разрушения гидроузла. Такими параметрами являются степень разрушения гидроузла и высота порога бреши. Эти параметры выбираются по желанию пользователя и могут варьироваться от нуля до единицы.

Требования к пользователю.

Использование программы требует стандартных навыков работы в среде Windows 95/98/NT. Управление функциями программы осуществляется выбором в меню интересующего раздела. Для отображения данных используется два вида панелей: таблицы и графические схемы. Все панели программы всегда являются активными, но при этом могут быть скрытыми. Для того, чтобы их увидеть и отредактировать данные, надо выбрать соответствующий раздел меню и нажать кнопку на панели управления.

Описание программы.

Программа имеет контекстную справочную систему, т.е. при вызове справки появляется та страница справки, которая соответствует открытой таблице или схеме; а также программа имеет всплывающие подсказки к некоторым элементам.

В начале работы программа загружает диалог открытия файлов данных. После выбора требуемого файла с расширением «.@vl», данные из выбранного файла заносятся в таблицы, из которых программа берет числа при запуске вычислительной процедуры. Чтобы отредактировать или просмотреть таблицы следует выбирать:

Для исходных данных:

* меню «Данные/Створ гидроузла»;
* меню «Данные/Створы по реке».

Для результатов:

* Меню «Результаты/Параметры прорыва»;
* Меню «Результаты/Профиль створа» (графическая схема).

При просмотре очередной таблицы, предыдущая становится открытой, но введенные ранее изменения сохраняются в памяти компьютера (но не сохраняются в файле).

Управление программой.

Программа «Волна 2.0» имеет удобный интерфейс для ввода, редактирования и отображения исходных данных и результатов работы. Окно программы состоит из заголовка с названием открытого файла, меню, панели управления с кнопками для быстрого доступа к основным командам, панели форматирования, панели ввода/вывода, строки состояния.

В меню «Файл»: создание, открытие, сохранение файлов, отчет о работе и выход.

В меню «Данные»: ввод, редактирование и просмотр исходных данных о створе гидроузла и створах по реке.

В меню «Вычисления»: старт вычислительным процедурам.

В меню «Результаты»: параметры прорыва – вывод на экран таблицы с результатами расчетов параметров волны прорыва, а также профиль створа (графическое представление).

В меню «Сервис»: установка различных настроек работы программы.

Панель ввода/вывода отображает таблицы данных и результатов, отчеты, а также специализированные графики и схемы.

В программе имеются панели табличного типа и графического.

Табличного типа:

* Створ гидроузла – для ввода данных, характеризующих водохранилище и створ гидроузла.
* Створы по реке – для ввода данных, описывающих местность, расположенную ниже створа гидроузла.
* Параметры волны прорыва – для вывода результатов вычислений программы.

Графического типа:

* Профиль створа – для отображения любого выбранного створа реки.

После запуска программы Volna.exe следует сформировать свой файл данных (или использовать файл примера, предварительно его переименовав). Затем следует приступить к подготовке данных, которую можно разбить на три этапа:

* Предварительная подготовка данных
* Ввод данных о створе гидроузла
* Ввод данных о створах по реке.

Расчет параметров волны прорыва, построение профилей створов и формирование отчета осуществляется с помощью команд меню после подготовки данных.

Предварительная подготовка данных.

Перед началом работы с программой необходимо подготовить источники исходных данных:

1. Найти географическую карту местности, расположенной возле объекта исследования (гидроузла). Желательно иметь максимально возможный масштаб карты (1:100000, 1:200000). (Выбор карты ограничивается высотой сечения горизонталей местности, а также тем, что с уменьшением масштаба уменьшается достоверность характеристик реки).

2. Найти данные, характеризующие водохранилище и содержащие:

а) объем водохранилища,

б) площадь зеркала водохранилища,

в) отметку уреза воды водохранилища,

г) глубину водохранилища у гидроузла

и прочее.

3. Найти данные, характеризующие гидроузел и содержащие:

а) Ширина водохранилища у плотины при НПУ,

б) Ширина реки в нижнем бьефе гидроузла,

с) Скорость реки в нижнем бьефе гидроузла

и прочее.

Если таких данных на карте не обнаружено, то необходимо воспользоваться какой-либо базой данных, описывающей данное гидротехническое сооружение, или определить другими возможными способами, некоторые из них приведены в справочном файле программы.

Затем необходимо выбрать меню “Файл/Создать”, для того чтобы очистить таблицы исходных данных и приготовится к вводу новых.

После создания файла имеется возможность задать или изменить название проекта, которое дается автоматически (предыдущее действие). Для этого необходимо выбрать меню “Данные/Изменить название...” и в строку ввода, на появившейся панели, ввести любое название, которое необходимо только для удобной идентификации проекта.

После проведенных действий можно приступить к вводу данных. Для этого необходимо перейти к таблице Створ гидроузла.

Данные о створе гидроузла.

Используя карту местности и/или специализированные базы данных, заполняется таблица исходных данных створа гидроузла, для этого необходимо выбрать меню “Данные/Створ гидроузла” и ввести в таблицу числовые значения, расчетная схема гидроузла приведена ниже. Под НПУ понимается нормальный подпорный уровень водохранилища.

Исходные данные можно разделить на постоянные и переменные, постоянные - данные не зависящие от каких-либо условий; переменные - данные, зависящие от паводков, размеров разрушения и т.п.; а также см. порядковый список.

Пост. - постоянные, Перем. - переменные значения.

1. Объём водохранилища при НПУ Wв млн.м3

(Пост.)

2. Глубина водохранилища у плотины при НПУ Hв м

(Пост.) Определяется по карте или таблицам.

3. Площадь зеркала водохранилища при НПУ Sв млн.м2

(Пост.) Определяется по карте или таблицам.

4. Ширина водохранилища у плотины при НПУ Bв м

(Пост.) Определяется по карте или таблицам.

5. Глубина реки в нижнем бьефе гидроузла Hбо м

(Перем.) Берётся из карты по ближайшим к гидроузлу знакам. Необходимо учитывать при паводках и т.п.

6. Ширина реки в нижнем бьефе гидроузла Bбо м

(Перем.) Берётся из карты по ближайшим к гидроузлу знакам. Необходимо учитывать при паводках и т.п.

7. Скорость течения в нижнем бьефе гидроузла Vбо м/с

(Перем.) Берётся из карты по ближайшим к гидроузлу знакам.

8. Глубина вдхр. у плотины на момент разрушения гидроузла Hpм

(Перем.) Зависит от наполнения водохранилища.

9. Степень разрушения гидроузла Ep

(Перем.). Изменяется от 0 до 1 (мин - макс).

10. Высота порога бреши p м

(Перем.) Определяется относительно дна водохранилища у гидроузла, диапазон: от 0 до Hв м

11. Отметка уреза воды водохранилища при НПУ Zв м

(Пост.) То есть отметка над уровнем моря.

12. Количество постоянных створов по длине реки N

Определяется пользователем, не должно превышать числа определённых створов из таблицы “Створы по реке” (в данной версии ограничено 8 створами).

Затем необходимо перейти к заполнению таблицы Створы по реке.

Данные о створах по реке.

Используя карту местности заполняется таблица “Створы по реке”. Для этого следует выбрать меню “Данные/Створы по реке” и заполнить таблицу ввода данных в соответствии с инструкцией:

1. Разделить местность, расположенную ниже гидроузла, на линейные участки (створы), может быть проведено до 8 створов. Следует проводить створы в местах, необходимых для принятия решения, (также см. рис. Расчетная схема створов по реке).

2. Провести сечения, перпендикулярные течению реки для каждого участка (створа).

3. Для каждого створа определить необходимые параметры (см. рис. Створ реки) и заполнить таблицу “Створы по реке” (см. ниже).

Необходимые исходные данные:

1. Удаление i-го створа от створа гидроузла Lci км

Lc[i]>Lc[i-1]

БЫТОВОЙ ПОТОК:

2. Отметка уреза воды Zбi м

3. Глубина Hбi м

4. Ширина Bбi м

5. Скорость течения Vбi м/с

ЛЕВЫЙ БЕРЕГ и ПРАВЫЙ БЕРЕГ

6-7. Высота бровки берега Hm м

Если не известно значение, то Hm=0

8-9. Ширина поймы реки Bп м

Если не известно значение, то Bп=0

10-11. Отметка 1-й горизонтали местности z1 м

12-13. Расстояние от оси реки до 1-й г.м. B1 м

14-15. Отметка 2-й горизонтали местности z2 м

16-17. Расстояние от оси реки до 2-й г.м. B2 м

18-19. Отметка 3-й горизонтали местности z3 м

Для упрощения ввода, проставляются Нули

20-21. Расстояние от оси реки до 3-й г.м. B3 м

Для упрощения ввода, проставляются Нули

В некоторых ячейках таблицы “Створы по реке” заранее проставлены нулевые (0) значения для ускоренного ввода данных.

Примечание:

Имеется возможность добавлять, переставлять столбцы исходных данных. Для этого надо нажать мышью на шапку столбца и не отпуская кнопку мыши переместить столбец на новое место, при этом столбец поменяет свой номер на новый.

Если таблицы данных заполнены полностью, в соответствии с требованиями можно перейти к вычислениям параметров прорыва.

Вычисление параметров волны прорыва.

После того как таблицы данных будут полностью заполнены в соответствии с требованиями необходимо сохранить данные в файле выбрав меню “Файл/Сохранить”.

Затем можно перейти к вычислению параметров волны прорыва, для этого необходимо выбрать любой из предложенных способов запуска процедуры:

* или выбрать меню “Вычисления/Параметры прорыва”,
* или нажать кнопку на панели управления
* или нажать кнопку на клавиатуре “F12”.

После запуска на мониторе появится панель, характеризующая процесс выполнения вычисления, по окончании вычислений панель будет скрыта.

Если данные не отвечают установленным требованиям, то появится сообщение об ошибке, и вычисление будет прервано. Таблица “Параметры волны прорыва” останется без изменения.

При успешном вычислении появится таблица “Параметры волны прорыва” с результатами. Результаты будут даны для количества створов, заданных в таблице “Створ гидроузла”.

Вместе с появлением таблицы, будет сделано доступным меню “Результаты/Профиль створа” и соответствующая кнопка на панели управления.

Ошибок в работе программы, способных привести к ‘’зависанию’’ компьютера не обнаружено. При правильном и полном вводе данных, ошибок в вычислении также не обнаружено, т.е. если:

* Десятичные части данных отделены от целых запятой, если при этом в Win95/98/NT в “Язык и стандарты” в разделе “Числа” установлен соответствующий разделитель - запятая.
* Число исследуемых створов в таблице данных об “i”-створе, не меньше числа “N” из таблицы данных о створе гидроузла.
* Данные соответствуют условиям, описанным в соответствующих разделах.
* Возможна ошибка, если высота порога бреши p больше глубины водохранилища у плотины на момент разрушения гидроузла Hp, т.е. p > Hp.

В случае ошибок такого рода, программа прекратит выполнение команды пользователя, и будет готова к изменениям в таблицах.

Параметры волны прорыва (результаты вычислений).

При успешном вычислении появится таблица результатов расчетов “Параметры волны прорыва”, которая содержит временные и количественные характеристики волны прорыва для “N” створов.

Ниже приведена таблица результатов.

1. Удаление створа от гидроузла Lci км

2. Максимальный расход воды в створе Qi т.м3/с

ВРЕМЯ

3. Добегания фронта волны Tфi мин

4. Добегания гребня волны Tгр мин

5. Добегания хвоста волны Tхi мин

6. Затопления Tзт мин

7. Максимальная скорость течения Vi м/c

8. Высота волны Hгi м

9. Максимальная глубина затопления Hi м

10. Максимальная отметка затопления Zi м

Максимальная ширина затопления

11. По Левому берегу, м

1. По Правому берегу, м

Максимальная ширина затопления дается от оси реки.

Последствия.

По полученным результатам можно оценить возможные последствия затопления.

Ниже приведена краткая таблица последствий (подробности следует искать в другой документации).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № | Класс  | Характеристика строения | Разрушение |
| Слабое | Среднее | Сильное |
| Скорость | Высота | Скорость | Высота | Скорость | Высота |
| 1 | А1 | из местных материалов | 1 | 1 | 1,5 | 2,5 | 2 | 3,5 |
| А2 |
| А3 |
| 2 | Б1 | кирпичные, из тесанного камня или бетонных блоков | 1 | 2 | 2 | 3 | 2,5 | 4 |
| Б2 |
| Б3 |
| 3 | В1 | железобетонные, каркасные, крупнопанельные и деревянные рубленные | 1,5 | 3 | 2 | 3,5 | 2,5 | 5 |
| В2 |
| В3 |
| 4 | С7 | сооружения с сейсмостойкостью 7 баллов | 1,5 | 3 | 3 | 6 | 4 | 7,5 |
| 5 | С8 | Сооружения с сейсмостойкостью 8 баллов | 1,5 | 3 | 3 | 6 | 4 | 7,5 |

Для этого необходимо выбрать меню Результаты/Профиль створа. [19, а также файл Volnhelp.hlp]

Приложение №2. Расчет параметров волны прорыва и затопления местности при разрушении гидроузла

В сценарии возможной аварии на гидроузле, изложенном в Декларации безопасности Павловской ГЭС, а также в результатах расчета возможного ущерба от этой аварии, уровень безопасности оценивается как нормальный, а возможный ущерб от аварии не подлежит обязательному учету для сооружений 2-го класса. Поэтому в дипломной работе расчет возможных последствий от аварии производился не по предложенному сценарию в декларации безопасности, а по сценарию с большой редкостью, а, следовательно, и ущербом. Сценарий этой возможной аварии представлен на приведенной ниже схеме на стр. 63.

Сценарий. В результате паводка редкой повторяемости гидротехнические сооружения Павловской ГЭС не смогли обеспечить постепенный сброс воды из верхнего бьефа, т.к. шлюз-водосброс находился в неработоспособном состоянии, а также другое механическое оборудование было не полностью подготовлено к пропуску паводка.

Резкий (аварийный) сброс воды вызвал гидравлический удар, в результате которого началось землетрясение мощностью 3-4 балла.

Гидротехнические сооружения построены без учета сейсмостойкости, в результате чего начался процесс разрушения плотины всего напорного фронта ГТС.

Кроме того, землетрясение вызвало оползень, после которого в водохранилище оказалась огромная масса различных пород, складывающих берег водохранилища. Увеличение объема воды в верхнем бьефе обеспечило поднятие уровня воды выше отметки ФПУ = 142,00, произошел перелив воды через гребень плотины и начался размыв гребня и низового откоса плотины. Это ускорило процесс разрушения плотины напорного фронта ГТС.