

КАК ОЦЕНИТЬ ОПАСНОСТЬ ВОДОХРАНИЛИЩА

Г.Г. Круглов, кандидат технических наук

В.В. Ивашечкин, доктор технических наук

Н.Н. Линкевич, кандидат технических наук

Белорусский национальный технический университет
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Проанализированы причины аварий на гидроузлах Республики Беларусь и обоснована актуальность оценки опасности речных подпорных гидроузлов. С учетом имеющегося опыта оценки степени риска разрушения дамб шламоохранилищ ПО "Беларускалий" и методических рекомендаций, разработанных в НИИ ВОДГЕО, была проведена оценка опасности двух водохранилищ, расположенных на территории Минской области. Полученные результаты подтвердили возможность использования методики оценки степени риска аварий на белорусских водохранилищах.

Ключевые слова: водохранилище, степень риска аварий, гидротехнические сооружения, фильтрационный поток

Abstract

G.G. Kruglov, V.V. Ivashchkin, N.N. Linkevich
HOW TO ASSESS THE RISK OF WATER RESERVOIR

Accidents on the nodes and the urgency of risk assessment for river sustaining nodes on the territory of Belarus are analyzed. Risk assessment is evaluated for two water reservoirs located in Minsk region based on the experiences of evaluated risk of fracture of slim storage dams of "Belaruskali" and methodical recommendations of Scientific Research Institute "VODGEO". The results prove the possibility to use risk assessment during testing Belarusian water reservoirs

Keywords: water reservoir, risk assessment, hydrotechnical units, filtration flow

В Республике Беларусь создано более 150 водохранилищ на малых реках, а в настоящее время возводятся каскады водохранилищ на Западной Двине и Немане. Гидротехнические сооружения, с помощью которых создаются водохранилища, являются особо ответственными, а их серьезные аварии приводят к тяжелым последствиям с человеческими жертвами и большими материальными ущербами. На практике такие аварии, к сожалению, случаются. Так в США в 1889 г. три аварии на плотине Саут Форк погибло около 2500 человек, в 1963 г. авария на итальянской плотине Вайонт унесла жизни 2000 чел., а в 1959 г. при аварии на французской плотине Мальпассе погибло 432 человека.

По данным международной комиссии по большим плотинам, которая объединяет 95 стран и осуществляет мониторинг аварийных ситуаций, основными причинами, вызывающими аварии на речных подпорных гидроузлах, являются:

- недостаточная надежность оснований сооружений (45-50% аварий). По этой причине, например, была разрушена в 1976 г. плотина Тетон в США. Волна прорыва затопила 120 тыс.га, были полностью разрушены тысячи зданий и сооружений, дороги, оросительные системы и др.;
- недостаточная пропускная способность водосбросных сооружений (27-37%);
- низкое качество работ (7-14%).

Как видно, каждая третья аварийная ситуация вызвана недостаточной пропускной способностью водосбросных сооружений. Анализ результатов обследований белорусских гидроузлов, выполненных авторами за последние 10-15 лет, позволил установить ряд причин, которые или уже привели к аварии на гидроузлах, или могут это сделать в будущем.

В составе абсолютного большинства белорусских речных гидроузлов в качестве подпорного сооружения используются земляные плотины, а водосбросные сооружения представлены бетонными водосливными плотинами или береговыми водосбросами. Многие из этих гидроузлов возведены в середине прошлого века и не везде была налажена надлежащая их эксплуатация. Во время половодий или дождевых паводков, если водосбросные сооружения не справляются с их пропуском по тем или иным причинам, происходит подъем уровня воды в водохранилище, перелив через гребень земляной плотины и ее разрушение.

Как показали обследования ГЭС Алешино на реке Зарезанка [1] превышение отметки гребня земляной

плотины над уровнем воды в верхнем бьефе было не более 1-1,5 м, а на одном из двух водосливных пролетов подъемный механизм находился в нерабочем состоянии. В результате чего в 2006 году при пропуске паводка не смогли вовремя открыть водосливной пролет, и произошел прорыв земляной плотины. В подобной ситуации находятся многие гидроузлы, возведенные 60-70 лет тому назад, которые оборудованы ручными подъемниками для маневрирования затворами. Таким образом, первая причина, вызывающая аварийную ситуацию – неисправность оборудования для маневрирования затворами.

Второй причиной могут быть ошибочные действия эксплуатационного персонала. Следует отметить, что на гидроузлах малых ГЭС обслуживающий персонал малочислен и представлен в основном энергетиками. Гидротехников, как правило, среди обслуживающего персонала нет. Так на Добромысленской ГЭС на р. Черница произошло переполнение водохранилища во время сильного дождя из-за того, что не были во время открыты водосливные отверстия.

Третьей причиной может быть неверно принятые величины расчетного и поверочного расходов, которые для малых рек без гидрометрических постов и наблюдений, определялись или по рекам-аналогам или по эмпирическим зависимостям. Кроме того, превышение паводковых расходов над расчетными может быть связано с длительной (более 50-60 лет) эксплуатацией этих гидроузлов, в то время как повторяемость расчетного паводкового расхода для сооружений III класса – один раз в 33 года, а для IV класса – один раз в 20 лет. Эта опасность становится достаточно реальной в связи с существенными изменением климата. В последние годы на территории многих стран, в том числе и в Беларуси, отмечены ливневые дожди чрезвычайной интенсивности и продолжительности, вызывающие катастрофические паводки на реках.

Четвертая причина связана с надежностью подпорных сооружений гидроузлов, т.е. с надежностью земляных плотин. По данным Мидлбрука (США), полученным в результате анализа аварий более 200 плотин [2], основными причинами аварий земляных плотин были:

- перелив воды через гребень плотины – 30%;
- фильтрационные деформации тела плотин и грунтов основания – 38%;
- оползание и деформации откосов – 15%;
- землетрясения – 7%;
- волновые воздействия – 5%;
- прочие факторы (сплошные ходы землеройных животных, химическая суффозия) – 5%.

Статистические данные [3] свидетельствуют, что в большинстве случаев аварии плотин происходят в период их строительства и в начальный период эксплуатации (5-7 лет) после наполнения водохранилища, когда проявляются все недостатки изысканий и производства работ. Затем наступает длительный период (40-50 лет), когда состояние плотин стабилизируется и аварии маловероятны. После этого срока опасность аварий снова увеличивается. Так из 600 грунтовых плотин, обследованных в Калифорнии после 45-50 лет эксплуатации 105 нуждались в ремонтных работах [4].

Кроме того, отмечается повышенная аварийность низких (до 15-20 м) плотин, что является следствием недостаточной тщательности из проектирования, строительства и особенно эксплуатации [5].

Вышеприведенные статистические данные подтверждаются обследованиями земляных плотин в нашей республике, эксплуатирующихся больше 50 лет [1, 6], у которых отмечены нарушения работы трубчатых дренажей и выход фильтрационных вод на низовые откосы (рисунки 1 и 2).

Таким образом, оценка опасности белорусских водохранилищ представляется задачей актуальной, решение которой является основной целью данной работы.

Кафедра гидротехнического и энергетического строительства Белорусского национального технического университета с 2001 года по настоящее время по заданию ОАО "Белгорхимпром" осуществляла экспертную оценку степени риска разрушения ограждающих дамб шламохранилищ ПО "Беларуськалий".

При оценке степени риска разрушения дамб шламохранилищ были проанализированы все возможные причины, которые могут вызвать аварийную ситуацию. По каждой из этих причин и их совокупности устанавливался интегральный показатель степени риска разрушения дамб.



Рисунок 1 – Дефекты трубчатого дренажа



Рисунок 2 – Выход фильтрационного потока на низовой откос плотины ГЭС "Алешино"

В общем случае надежность дамб можно установить по группе показателей, определяемых инженерными расчетами, и по второй группе показателей, которые невозможно определить расчетным путем и которые должны оцениваться экспертами по аналогии с сооружениями, на которых наблюдались аварийные ситуации.

В рамках выполнения ГПНИ "Разработка методики определения опасности водохранилищ в Республике Беларусь при половодьях и паводках на примере гидроузлов Минской области" были проанализированы методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов, разработанные в ФГУП НИИ ВОДГЕО авторским коллективом под научным руководством д.т.н. Розанова Н.Н. и д.т.н. Куранова Н.П. Эти рекомендации, аналогично нашему опыту, основаны на экспертной оценке всей совокупности факторов, влияющих на надежность и безопасность гидротехнических сооружений, включая возможный ущерб при аварии.

Оценка риска основывается на результатах контроля и анализа количественных (определяемых инженерными расчетами) и качественных (оцениваемых экспертами) характеристик состояния сооружений, природных воздействий и ожидаемого ущерба от аварий или разрушения сооружений. За основу оценки опасности гидротехнических сооружений приняты нормирующие коэффициенты, характеризующие долю (вероятность) от наиболее неблагоприятной ситуации, принимаемой за единицу [7, 8].

Опасность аварии гидротехнических сооружений определяется следующими показателями:

- опасность превышения, принятых при проектировании сооружений, природных нагрузок и воздействий;
- обоснованность проектных решений и их соответствие современным нормативным требованиям;
- соответствие проекту конструкции сооружений, условий их эксплуатации и свойств материалов сооружений и грунтов основания;
- возможные последствия и ущерб при аварии.

На основании этих показателей определяется интегральная количественная оценка опасности сооружений в виде коэффициента опасности λ , который представляет собой долю (вероятность) от наиболее неблагоприятной обстановки (сочетания показателей опасности) на объекте, когда $\lambda=1,0$.

Степень уязвимости гидротехнических сооружений оценивается их восприимчивостью к воздействию факторов опасности и определяется следующими показателями:

- состояние сооружений (по данным инструментальных наблюдений и визуального контроля);
- организация эксплуатации сооружений (соблюдение требований безопасной эксплуатации);

- готовность объекта к локализации и ликвидации чрезвычайной ситуации.

На основании этих показателей определяется интегральная количественная оценка уязвимости сооружений в виде коэффициента уязвимости n , который также как и λ , представляет собой долю (вероятность) от наиболее неблагоприятной обстановки на объекте по сочетанию показателей уязвимости, когда $n=1,0$.

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

$$R=\lambda v \quad (1)$$

Коэффициент риска аварии представляет собой долю от риска, который имеет место на объекте при наиболее неблагоприятных сочетаниях показателей опасности $\lambda=1,0$ и уязвимости $v=1,0$, т.е. при $R=1,0$.

Степень риска аварии оценивается по величине коэффициента риска аварии в соответствии с данными таблицы 1.

СТЕПЕНЬ РИСКА АВАРИИ	КОЭФФИЦИЕНТ РИСКА АВАРИИ R
МАЛАЯ (нормальный уровень безопасности)	не более 0,15
УМЕРЕННАЯ (пониженный уровень безопасности)	от 0,15 до 0,30
БОЛЬШАЯ (неудовлетворительный уровень безопасности)	от 0,30 до 0,50
АВАРИЙНАЯ СИТУАЦИЯ (опасный уровень)	больше 0,50

Таблица 1 – Оценка степени риска аварии гидротехнических сооружений

Как видно, предложенная методика охватывает все стороны существования гидротехнических сооружений, начиная от их проектирования (расчетов), строительства и эксплуатации, включая оценку ущерба вследствие их аварии, и может быть использована с учетом особенностей белорусских водохранилищ для оценки их опасности.

В качестве примера была выполнена оценка опасности двух водохранилищ, расположенных на территории Минской области: водохранилище головного гидроузла Вилейско-Минской водной системы на реке Вилия и водохранилище Заславское на реке Свислочь.

Заславский гидроузел расположен на р. Свислочь выше города Минска и предназначен для создания зоны отдыха и выработки электроэнергии. Проект гидроузла разработан в 1949 г. проектным

институтом "Белгоспроект", а в эксплуатацию гидроузел был введен в 1956 году. Гидроузел состоит из левобережной и правобережной земляных плотин и паводкового водосброса, совмещенного со зданием ГЭС бычкового типа.

Земляная плотина неоднородная, тело плотины выполнено из песка, экран и понур – из моренного суглинки. Максимальная высота плотин 12 м, верховой откос плотины закреплен монолитными бетонными плитами, низовой – одерновкой. Дренаж тела плотины выполнен из бетонных перфорированных труб диаметром 300 мм с обсыпкой обратным фильтром.

Паводковый водосброс выполнен в виде двухпролетной водосливной плотины практического профиля. Водосливные отверстия перекрыты сегментными затворами. Для возможного полного опорожнения водохранилища в теле плотины устроен донный водовыпуск.

Здание ГЭС размещается в теле бычка водосливной плотины и оборудовано одной турбиной. В 1985 г. ГЭС была выведена из эксплуатации, а в 1994 г. после ремонта – вновь запущена в эксплуатацию.

В соответствии с расчетами, выполненными институтом "Белгоспроект", волна прорыва достигнет г. Минска через 11 часов, глубина воды в Свислочи поднимется на 3,8 м над поймой.

На момент обследования гидроузла дренаж правобережной плотины работал неудовлетворительно, вследствие чего за правобережным устоем уровень грунтовых вод располагался высоко и под действием фильтрационного потока происходит выщелачивание бетона, о чем свидетельствуют многочисленные беледые подтеки на поверхности устоя (рисунок 3).

Техническое состояние бетонных конструкций паводкового водосброса неудовлетворительное. В пределах колебания уровней воды в верхнем бьефе штукатурка полностью разрушена и имеется поверхностное разрушение бетона с образованием раковин (рисунок 4).



Рисунок 3 – Подтеки на низовом открьлке правобережного устоя



Рисунок 4 – Поверхностное разрушение бетона бычка

На боковой поверхности бычка, в зоне консоли, на которой размещается опорный шарнир сегментного затвора, имеется глубокая горизонтальная трещина, происходит отслаивание бетона в местах примыкания закладных частей к бетону.

Выполненные измерения прочности бетонных конструкций показали, что только в 6-и точках из 36 прочность бетона была больше 20 МПа, что соответствовало минимальной прочности для гравитационных плотин. В остальных 30-ти точках прочность бетона колебалась в пределах 4,3-17,4 МПа.

Опасность аварии сооружений Заславского гидроузла по первому показателю принята средняя, так как есть опасность разрушения опорных конструкций сегментных затворов. По второму показателю степень опасности также средняя, так как принятые проектные решения по сопряжению бетонной плотины с земляной недостаточно надежны, вследствие чего происходит разрушение бетона берегового устоя. Отклонений от проектных решений нет, поэтому по третьему показателю степень опасности малая, а по четвертому показателю опасность большая, так как в нижнем бьефе водохранилища находится город Минск.

Интегральная оценка опасности аварии, следовательно, характеризуется коэффициентом $\lambda=0,647$.

По первому показателю уязвимости сооружения гидроузла отнесены к средней степени, а по второму показателю – к малой степени, так как не был реализован проект капитального ремонта гидроузла, разработанный институтом "Минскинжпроект" еще в 1991 году. По третьему показателю гидроузел отнесен к малой степени уязвимости.

Интегральная оценка уязвимости гидроузла характеризуется коэффициентом $\nu=0,501$.

Степень риска аварии Заславского гидроузла выражается коэффициентом:

$$R=\lambda\nu=0,647\cdot0,501=0,324 \quad (2)$$

В соответствии с таблицей 1 по этому коэффициенту степени риска аварии оценивается как большая, а уровень безопасности гидротехнических сооружений – как неудовлетворительный.

Учитывая полученные результаты, Минскводоканал принял решение о капитальном ремонте гидроузла.

Головной гидроузел Вилейско-Минской водной системы расположен на р. Вилия выше г. Вилейка и предназначен для водоснабжения г. Минска.

Гидроузел построен в 1975 г., в его состав входили земляная плотина и бетонная водосливная плотина. В 1998 году введена в эксплуатацию ГЭС-1, а в 2002 г. – ГЭС-2.

Земляная плотина возведена из песка, а противофильтрационный экран и понур – из суглинка. Длина плотины 2150 м, максимальная высота 16,3 м. Верховой откос плотины закреплен железобетонными плитами 10х10х0,2 м, низовой откос – посевом трав.

Водосливная плотина имеет три водосливных отверстия шириной 12 м каждое и высотой 6,0 м. Водосливные отверстия перекрыты стальными сегментными затворами. В береговых устоях водосливной плотины расположены донные водоспуски, по которым в настоящее время подается вода к ГЭС-1 и ГЭС-2.

На момент обследования все сооружения гидроузла находились в хорошем состоянии, никаких видимых разрушений или дефектов не обнаружено.

По первому показателю степень опасности принята малая, а по второму она вообще отсутствует. По третьему показателю степень опасности малая, так как имеющиеся незначительные отклонения от проекта, связанные с подключением к донным водоспускам ГЭС-1 и ГЭС-2, не могут привести к нарушению нормальной работы сооружений. По четвертому показателю степень опасности принята средняя, так как в нижнем бьефе водохранилища расположен г. Вилейка.

Интегральная оценка опасности аварии, таким образом, характеризуется коэффициентом $\lambda=0,352$.

По первому показателю, в связи с отсутствием каких-либо нарушений конструктивных элементов сооружений, степень уязвимости отсутствует. По второму показателю уязвимости гидроузел отнесен к малой степени, так как есть отступления от проектного режима наполнения и сработки водохранилища. К малой степени уязвимости гидроузел отнесен по третьему показателю, так как имеется неполное оснащение аварийно-ремонтных бригад.

Интегральная оценка уязвимости гидроузла характеризуется коэффициентом $v=0,168$.

Степень риска аварии головного гидроузла выражается коэффициентом:

$$R=lv=0,352 \cdot 0,168=0,059 \quad (3)$$

В соответствии с таблицей 1 степень риска аварии оценивается как малая, с нормальным уровнем безопасности.

Выводы

1. Полученные оценки степени риска аварии двух гидроузлов объективно отражают качество проектных и строительных работ, современное состояние сооружений, эффективность службы эксплуатации, возможные последствия и ущерб при аварии.

2. Методика оценки степени риска аварий гидротехнических сооружений может быть рекомендована для определения опасности белорусских водохранилищ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исследование технического состояния земляной плотины и водосбросного сооружения ГЭС "Алешино": заключительный отчет о НИР. – Минск, 2011.
2. Ничипорович, А.А. Плотины из местных материалов / А.А.Ничипорович. – М.: Стройиздат, 1973.
3. Обобщение данных статического анализа аварий и инцидентов в аспекте надежности плотин / М.И. Гогоберидзе, Р.Г. Какауридзе, Ю.Н. Микашвили, Д.Ц. Мирцхулава // Сообщения АН Груз. ССР. – Тбилиси, 1977. – Т.86, №3.
4. Проектирование и строительство больших плотин: материалы IX Междунар. конгресса по большим плотинам. – М.: Энергия, 1973. – Вып. 4.
5. Schutter N/ Statistische Sicherheit der Talsperren/Wasser, Energia, Laft, 1976, Vol 68, №5.
6. Исследование технического состояния сооружений гидроузла на водохранилище "Заславское": заключительный отчет о НИР. – Минск, 2013.
7. Рагозин, А.Л. Теория и практика оценки геологических рисков: дис. ... д-ра геолого-минералогических наук / А.Л.Рогозин. – М., 1997.
8. Оценка последствий чрезвычайных ситуаций / Г.Л.Кофф, А.А.Гусев, Ю.Л.Воробьев, С.Н.Козменко. – М.: Издательство РЭФИА, 1997.

Поступила 11.02.2016