

3. Беккер, А. Т. Проблема исследований надежности морских сооружений континентального шельфа [Текст] : дис. ... д-ра техн. наук ; защищена 25.05.1998 : утв. 30.05.1998 / Беккер Александр Тевьевич. — М., 1998. — 187 с.

4. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст] : строительные нормы и правила 2.06.04-82 (1995). — Взамен СНиП II-57-75 / Госстрой СССР. — М. : Стройиздат, 1983. — 184 с.

УДК 502/504:627.8

Г. М. Каганов, доктор техн. наук, профессор

В. И. Волков, канд. техн. наук, профессор

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ НИЗКОНАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ ОТСУТСТВИИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

В статье на примере обследования гидротехнических сооружений одного из гидроузлов Московской области приведена методика оценки технического состояния и уровня безопасности гидротехнических сооружений и гидроузла в целом. Рассмотрены сценарии развития неблагоприятных процессов, вызванных повреждениями сооружений гидроузла и недостаточным качеством его эксплуатации.

In this article on an example of investigation of hydraulic engineering structures of one of hydrounits of the Moscow area the methodology of an assessment of a technical state and safety level of hydraulic engineering structures and hydrounit as a whole is given. The scenarios of development of adverse processes caused by damages of structures of hydrounit and insufficient quality of its operation are considered.

Одной из основных задач обследований гидротехнических сооружений, в том числе и при проведении инвентаризации, является оценка их состояния и уровня безопасности.

Разработанные для этого методики, представленные в виде стандартов различных ведомств [1–4], ориентированы главным образом на достаточно крупные сооружения (I, II, III классов), для которых сохранилась проектная документация. Особая ситуация возникает при оценке состояния и уровня безопасности небольших сооружений IV (иногда и III) класса, для которых нет проектной документации, отсутствуют службы эксплуатации, т. е. исключена возможность получить даже минимальную устную информацию.

В Московском государственном университете природообустройства, проводившем в 1997 г. по поручению Роскомвода инвентаризацию гидротехнических сооружений в Российской

Федерации, а в последующие годы по заданию Министерства природных ресурсов их обследования, накоплен большой опыт, на основе которого разработана и апробирована методика детального обследования низконапорных гидротехнических сооружений при отсутствии проектной документации.

Оценка состояния и уровня безопасности указанных гидротехнических сооружений на основе детальных обследований выполняется без использования экспертных оценок, базирующихся на балльной системе и специальных расчетах по известным матричным схемам [4]; представляется, что квалифицированный специалист-гидротехник способен по результатам обследований в зависимости от характера действующих факторов и повреждений оценить состояние и уровень безопасности сооружений, а также выдать необходимые рекомендации.

Однородная земляная плотина из суглинки: высота — 8,5 м; напор — 7 м, ширина по гребню — 9 м, длина — 240 м (включая правобережную дамбу длиной 30 м). Минимальный запас гребня плотины по отношению к НПУ — 1,3 м. В момент обследования запас гребня плотины по отношению к уровню верхнего бьефа составлял 1,4 м. Ширина гребня без покрытия со стороны верховой бровки — 5,3 м. Гребень используется для проезда транспорта. Крепление откосов: верховой — без крепления; низовой — посев трав. Заложение откосов плотины: надводного верхового — 0,3...2; в зоне водосброса — до 5; низового — 2...2,5.

Водосброс. Трубчатый (2 нитки железобетонных труб диаметром 1,5 м) водосброс с шахтным оголовком с переливом воды по всему периметру шахты размещен в 18 м от правобережного примыкания плотины. Угол между осью водосброса и осью плотины составляет порядка 80°. На водосливе установлена сорозадерживающая решетка шатрового типа высотой 1,05 м. Расстояние от шахтного оголовка до гребня 23 м. Шахтный оголовок с толщиной стенок 0,35 м монолитной конструкции имеет глубину 3,4 м. Внутренние размеры шахты по плану: 6,25 м (по фронту) x 4,1 м. К шахте со стороны правобережной дамбы проложен подходной металлический мост длиной 14 м.

Транзитная часть выполнена из двух ниток железобетонных раструбных труб диаметром 1,5 м с межосевым расстоянием 2,7 м. На выходе трубы объединены общей порталной стенкой длиной 5,5 м. За порталной стенкой уложены три звена каждой нитки труб, выполненные без засыпки. Откосы в этой зоне сплошного крепления не имеют.

Концевые участки труб снабжены индивидуальными гасителями в виде рассеивающих порогов высотой 0,70 м, установленными на расстоянии 1,5 м от обреза труб. Верховая (по течению) грань порога выполнена наклонной для

обеспечения отброса струи. В порогах предусмотрены спускные трубы. Боковые стенки — вертикальные, их толщина 0,25...0,35 м. Все элементы концевых устройств, включая пространство между трубами до половины высоты труб, представляют собой единый блок из монолитного бетона. Превышение верха стенок над дном нижнего бьефа составляет 1,0 м. За гасителями находится несплошное крепление из обломков плит и мелкого камня.

Донный водовыпуск трубчатого типа (одна нитка стальных труб) с регулирующим колодцем из железобетонных колец диаметром 1,5 м размещен за подошвой низового откоса плотины на расстоянии 80 м слева от водосброса. Глубина колодца до заиленного дна составляет 3,6 м. Превышение верха колодцев над поверхностью земли — 0,2 м. Глубина воды в колодце — 1,6 м. Выпускная труба донного водовыпуска выведена в отводящий канал.

Состояние гидротехнических сооружений.

Оценка качества эксплуатации.

Несмотря на наличие собственника, эксплуатация ГТС не осуществляется, отсутствуют резервы материалов и т. д.

Оценка технического состояния плотины. Значительных деформаций плит бетонного покрытия гребня нет. Промоин на откосах, начинающихся с гребня, нет. Требуется проверка достаточности запаса гребня плотины над уровнем верхнего бьефа. Имеет место переработка верхового откоса ветровой волной с образованием вертикальных уступов высотой до 0,6 м. Примерно в двух метрах справа от оси водосброса на верховом откосе есть провальная воронка диаметром более 1 м, видимая на глубину до 1 м (отметка выше НПУ примерно на 0,6 м) (рис. 2). Возможно, формирование воронки связано с расстройством стыков отводящих труб водосброса и выносом грунта. Система водоотвода вдоль низового откоса отсутствует. Признаков дренажных устройств не обнаружено.

Среди диагностических показателей, характеризующих состояние плотины, выбираем наиболее значимые повреждения:

наличие на верховом откосе провальной воронки в створе расположения отводящих труб водосброса.

недостаточный запас гребня плотины.

образование на верховом откосе практически вертикальных уступов высотой до половины надводной части откоса.



Рис. 2. Провальная воронка на верховом откосе справа от оси водосброса (30 августа 2005 г.)

Значимое повреждение 1. Наличие на верховом откосе провальной воронки является качественным диагностическим показателем, характеризующим аварийное состояние плотины. Необходимо срочно принять неотложные меры по ликвидации угрозы аварии, включая незамедлительную сработку верхнего бьефа.

Значимое повреждение 2. В условиях отсутствия проектной документации значение допустимого запаса гребня плотины над НПУ может быть установлено по СНиП 2.06.04–82 при наличии необходимых данных для расчета. Предположим, что часть этих данных не может быть определена с необходимой точностью, и поэтому количественная оценка достаточности запаса гребня плотины не может быть проведена. В этом случае сделаем попытку оценить достаточность запаса гребня плотины с привлечением других данных по гидротехническим сооружениям

гидроузла, в частности по состоянию описанного ниже водосбросного сооружения. С учетом типа водосбросного сооружения (трубчатый водосброс с шахтным входным оголовком с переливом воды по всему периметру шахты) и опыта проектирования таких водосбросов форсировка уровня верхнего бьефа при пропуске поверочного расхода составит не менее 0,7...0,8 м. В таком случае запас гребня плотины в месте его наименьшей отметки будет не более 0,5...0,6 м — этого недостаточно для безопасного пропуска поверочного расхода. Кроме того, во входном оголовке водосброса несанкционированно установлена мелкоячеистая сетка высотой около 0,6 м на вертикальной части шатровой решетки. Опыт показывает, что это приводит к снижению пропускной способности водосливного порога, во-первых, из-за снижения просветности решетки, во-вторых, из-за быстрого забивания решетки мелким мусором вплоть до образования практически водонепроницаемой стенки. Снижение пропускной способности решетки потребует дополнительной форсировки уровня верхнего бьефа при пропуске паводковых расходов. Примем, что дополнительная форсировка при пропуске поверочного расхода составит из-за забивки решетки (несмотря на наличие собственника, эксплуатация сооружений гидроузла не осуществляется) около 0,2...0,3 м (в реальности может быть и больше). Вычтем эту дополнительную форсировку из оставшегося запаса гребня плотины над предполагаемым уровнем верхнего бьефа при пропуске поверочного расхода. В результате превышение гребня плотины над статическим уровнем верхнего бьефа составит всего 0,2...0,4 м. В таком случае даже незначительные волновые воздействия приведут к накату волны на гребень и возможному разрушению плотины. Поскольку конструктивный запас высоты гребня должен составлять не менее 0,5 м по диагностическому показателю «запас гребня над уровнем верхнего бьефа», плотина также находится в аварийном со-

стоянии, требующем принятия неотложных мер по ликвидации угрозы аварии, включая незамедлительную сработку верхнего бьефа. Вместе с тем, необходимо отметить, что разрушение указанной плотины может произойти еще ранее, чем описано, из-за возможного сочетания неблагоприятного состояния нескольких сооружений гидроузла, что рассмотрено в сценарии 2.

Повреждение 3. Переработка ветровой волной грунта до половины надводной части верхового откоса (для данной плотины такое повреждение не является определяющим по сравнению с другими повреждениями, хотя в определенных условиях может оказаться неблагоприятным фактором, способствующим разрушению).

В целом состояние плотины определяется экспертом, исходя из худшей оценки состояния по значимым повреждениям с учетом их взаимовлияния и влияния других факторов. В рассматриваемом примере состояние плотины по двум факторам оценивается как аварийное, а по одному — как удовлетворительное. Окончательное заключение: состояние земляной плотины — аварийное.

Оценка технического состояния водосброса. Отмечена значительная фильтрация через межблочные строительные швы шахтного оголовка, в левой стенке наблюдается интенсивный струйный выход воды. Бетонные элементы шахты имеют незначительные локальные повреждения, включая неглубокие каверны. На вертикальной части решетки шахтного оголовка несанкционированно установлена мелкоячеистая сетка высотой примерно 0,6 м. Стыки левой отводящей трубы имеют протечки с выносом грунта, о чем свидетельствует значительное заиливание на выходе части трубы и гасителя. Отводящее русло заросло кустарником.

Среди качественных диагностических показателей, характеризующих состояние водосбросного сооружения, наиболее значимыми являются следующие повреждения (факторы):

несанкционированно установленная мелкоячеистая сетка высотой около 0,6 м на вертикальной части шахтовой решетки входного оголовка;

повреждение стыков звеньев левой отводящей нитки труб, сопровождающееся выносом грунта тела плотины и заиливанием выходных звеньев труб и гасителя;

зарастание отводящего русла кустарником.

Влияние повреждений 1 и 2 водосбросного сооружения на состояние земляной плотины было рассмотрено выше. Что касается самого водосбросного сооружения, то эти повреждения не рассматриваются как определяющие для оценки его состояния, так как они не могут повлечь значительного ухудшения гидравлических режимов протекания потока в самом сооружении. По этим диагностическим показателям состояние водосброса может быть оценено как удовлетворительное, требующее проведения текущего ремонта.

Оценку влияния повреждения 3 на состояние водосбросного сооружения проведем, основываясь на возможном снижении пропускной способности трубчатого водосброса в связи с избыточным подтоплением со стороны нижнего бьефа в результате снижения пропускной способности отводящего русла из-за зарастания.

В рассматриваемом примере превышение рассеивающего порога над дном отводящего русла составляет 1,0 м. С учетом реальных размеров профиля отводящего русла и характера зарастания (в основном кустарник растет по откосам) уровень нижнего бьефа при пропуске поверочного расхода не сможет значительно превысить рассеивающий порог и вызвать избыточное подтопление выходного сечения труб, тем более отразиться на глубине воды во входном оголовке, что могло бы привести к подтоплению водосливного периметра, снизить пропускную способность входного оголовка, вызвать повышение уровня верхнего бьефа.

По этому диагностическому показателю состояние водосброса может быть оценено как удовлетворительное.

Окончательно состояние водосбросного сооружения (абстрагируясь от его негативного влияния на состояние плотины) оцениваем как удовлетворительное.

Оценка технического состояния донного водовыпуска.

Люк крышки колодца отсутствует. Колодец заполнен водой. Дренажная система колодца не работает. Спускной лестницы нет.

Среди качественных диагностических показателей выбираем наиболее значимые повреждения (факторы), к которым относятся заполнение запорного колодца водой и неработоспособность дренажной системы колодца.

Оценку состояния донного водовыпуска проведем, исходя из его роли в составе гидроузла для обеспечения безопасности сооружений напорного фронта. В этом плане он должен обеспечивать: сработку верхнего бьефа перед половодьем, пропуск части паводковых расходов и сработку верхнего бьефа в случае угрозы разрушения сооружений напорного фронта, в частности земляной плотины. Эти функции донный водовыпуск выполнить не в состоянии без откачки воды из запорного колодца. Без этого он также не может осуществлять подачу полезных попусков в нижний бьеф. Поэтому состояние донного водовыпуска оценивается как потенциально опасное.

Возможные сценарии развития аварии. Оценка состояния гидротехнических сооружений должна базироваться на определенных сценариях возможного неблагоприятного развития их значимых повреждений с учетом совокупности других влияющих факторов. Процессы разработки сценариев и определения значимых и других влияющих факторов взаимосвязаны и выполняются параллельно с установлением состояния сооружений и возможной корректировкой сценариев.

Среди наиболее неблагоприятных сценариев можно выделить следующие:

Сценарий 1 связан с возможным развитием суффозионных процессов в теле плотины в зоне размещения водопропускных труб водосброса.

Сценарий 2 связан с недостаточным запасом гребня плотины над НПУ и несанкционированной установкой мелкоячеистой сетки на вертикальной части шатровой решетки водосброса.

При невыполнении рекомендаций по проведению первоочередных ремонтных работ (приведены ниже) возможно следующее неблагоприятное развитие событий (например, по сценарию 2):

1. При пропуске паводковых расходов (особенно расходов, близких к расчетным) из-за установки мелкоячеистой сетки (высота примерно 0,6 м) на вертикальной части шатровой решетки водосброса произойдет ее забивка мелким плавающим мусором, что приведет соответственно к непроектному подъему уровня воды в верхнем бьефе.

2. Разрушение плотины может произойти:

в результате прямого поступления воды в провальную воронку на верхнем откосе и промыва тела плотины вдоль труб водосброса;

в результате недопустимого понижения отметки гребня плотины (из-за интенсификации провальных явлений в зоне размещения труб водосброса вследствие развития суффозионных процессов в теле плотины) и последующего перелива через гребень плотины;

если угроза разрушения плотины из-за наличия провальной воронки на верхнем откосе ликвидирована (например, путем проведения соответствующих ремонтных работ), в результате перелива через гребень плотины в месте наибольшего понижения, где запас над НПУ составляет всего 1,3 м.

Оценка состояния комплекса гидротехнических сооружений должна приниматься по худшему состоянию хотя бы одного из основных сооружений с учетом их взаимного влияния и

влияния на их безопасность других факторов (например, состояния эксплуатации гидроузла).

В таблице приведены показатели состояния и уровня безопасности отдельных ГТС и гидроузла в целом.

Состояние и уровень безопасности ГТС и гидроузла в целом

Состояние ГТС и уровень безопасности	Земляная плотина	Водосброс	Донный водовыпуск	Гидроузел в целом
Техническое состояние	Аварийное	Удовлетворительное	Потенциально опасное	Аварийное
Соответствие условий эксплуатации проекту и нормам	Эксплуатация отсутствует	Эксплуатация отсутствует	Эксплуатация отсутствует	Эксплуатация отсутствует
Уровень безопасности по Российскому регистру ГТС	Опасный	Пониженный	Неудовлетворительный	Опасный

В целом состояние комплекса гидротехнических сооружений рассматриваемого гидроузла оценивается как аварийное, а уровень его безопасности в соответствии с Российским регистром ГТС как опасный.

Собственнику рекомендовано выполнить следующие первоочередные виды работ: проверить достаточность запаса гребня плотины над уровнем верхнего бьефа; убрать мусор из шахты водосброса; ликвидировать несанкционированно установленную мелкоячеистую сетку на вертикальной части решетки шахтного оголовка водосброса; выполнить герметизацию фильтрующих стыков между звеньями отводящих труб водосброса; расчистить провальную воронку на верховом откосе и после осмотра специалистом засыпать ее связным грунтом с послойным уплотнением (до выполнения этих работ эксплуатировать пруд при пониженных отметках); провести ревизию донного водовыпуска, проверить состояние задвижек и при необходимости провести их замену.

Затем целесообразно выполнить следующие ремонтные работы: устранить протечки в межблочных швах шахты; устранить наиболее существенные повреждения бетона шахты; при дальнейшем увеличении переработки верхового откоса произвести отсыпку крупнообломочных грунтов в местах переработки; регулярно проводить окашивание травы на низовом откосе.

Из-за отсутствия своевременно проведенных сравнительно небольших

ремонтных работ плотина рассматриваемого гидроузла была разрушена в апреле 2006 г. в результате интенсификации суффозионных процессов и промыва тела плотины вдоль труб водосброса (рис. 3).

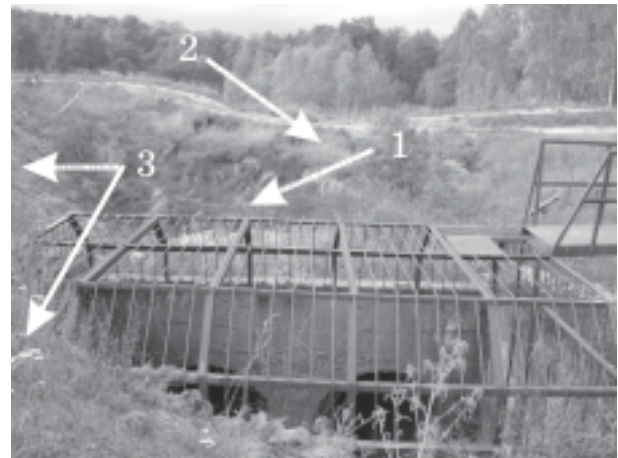


Рис. 3. Развитие провальной воронки (1) на верховом откосе и понижение гребня (2) плотины (слева отсыпана временная перемычка (3) (снимок ГУ «Мособлводхоз», 2006 г.)

Выводы

В статье представлена разработанная в ФГОУ ВПО МГУП методика проведения детальных обследований гидротехнических сооружений низконапорных гидроузлов при отсутствии проектной документации. Методика, апробированная на 600 гидроузлах IV класса (1 700 гидротехнических сооружений), показала свою эффективность и удобство в использовании.

На основе предложенной методики можно достаточно просто, без использования системы баллов (не позволяю-

щих для рассматриваемых сооружений четко выделить границы состояний и уровень безопасности) и проведения специальных расчетов, оценить состояние гидротехнических сооружений и уровень их безопасности.

Приведенный пример результатов обследований гидроузла на реке Теменке Чеховского района Московской области подтвердил эффективность своевременных обследований с использованием предлагаемой методики, которые, несмотря на отсутствие проектной документации, расчетного обоснования, благодаря анализу повреждений позволяют сделать правильные выводы о состоянии сооружений и уровне их безопасности, рассмотреть при этом возможные сценарии аварии и выдать рекомендации для ее предотвращения.

Невыполнение рекомендаций привело, к сожалению, к реализации одного из возможных сценариев аварии, в результате чего плотина была разрушена.

Ключевые слова: безопасность, гидроузел, гидротехническое сооружение, обследова-

ние, повреждение, уровень безопасности, техническое состояние, эксплуатация.

Список литературы

1. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [Текст] : РД 153-34.2-21.342-00. — М. : РАО «ЕЭС России», 2001. — 14 с.
2. Методические рекомендации по оценке риска аварий гидротехнических сооружений водохранилищ и накопителей промышленных отходов [Текст]. — М. : ЗАО «ДАРВОДГЕО», 2002. — 44 с.
3. Методика оценки уровня безопасности гидротехнических сооружений [Текст]. — М. : ОАО «НИИЭС», 2004. — 15 с.
4. Пособие к методике определения критериев безопасности гидротехнических сооружений [Текст]; под ред. И. Н. Иващенко, И. Ф. Блинова. — М. : ОАО «НИИЭС», 2004. — 96 с.
5. Каганов, Г. М. Обследование гидротехнических сооружений при оценке их безопасности : учебное пособие [Текст] / Г. М. Каганов, В. И. Волков, О. Н. Черных. — М. : МГУП, 2001. — 60 с.
6. Обследование ГТС водохранилищ Московской области [Текст] : отчет о НИР / ФГОУ ВПО МГУП ; рук. Каганов Г. М. ; исполн. : Волков В. И. [и др.]. — М. : МГУП, 2005. — 1168 с.