ПРОГНОЗ ПАРАМЕТРОВ ПРОРЫВНОЙ ВОЛНЫ ПРИ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА ПЛОТИНЕ

АБДРАЗАКОВ Фярид Кинжаевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ПАНКОВА Татьяна Анатольевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

ОРЛОВА Светлана Сергеевна, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

СИРОТА Валерий Тимофеевич, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

В статье приводятся результаты оценки последствий аварийной (чрезвычайной) ситуации на реке Солянка Озинского района Саратовской области для различных сценариев развития гидродинамической аварии, определены параметры зоны затопления и возможные негативные воздействия на окружающую среду.

Основные задачи гидротехнических сооружений – создание, преобразование, изменение водного объекта для целесообразного и экономичного водохозяйственного использования, а также для защиты окружающей среды от вредного воздействия воды.

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений необходимы систематический контроль и наблюдение за их состоянием. Кроме того, следует проводить систематические регулярные инструментальные измерения с целью проверки соответствия контролируемых параметров действующих нормативов и критериев безопасности своевременного выявления повреждений и организации ремонтных работ.

Эксплуатационная надежность гидротехнических сооружений является актуальным вопросом Саратовской области [1, 5–9].

Возникновение аварий на гидротехнических сооружениях чаще всего происходит из-за разрушения основания (40 %), недостаточности водосброса (23 %), слабости конструкции (12 %), неравномерной осадки (10 %), высокого давления на плотину (5 %), военных действий (3 %), оползания откосов (2 %), дефектов материала (2 %), неправильной эксплуатации (2 %) и землетрясений (1 %).

Самым опасным разрушением является разрушение плотины, которое сопровождается следующими факторами: возникно-

вением волны прорыва и зоны затопления, являющихся самыми опасными для людей. Прорыв возникает вследствие воздействия силы природы (землетрясения, урагана, обвала, оползня), паводков, конструктивного дефекта, нарушений правил эксплуатации, разрушения оснований, недостаточности водосбросов, а в военное время и в результате воздействия средств поражения.

В результате прорыва в плотине или сооружении образуется проран, который имеет размеры, оказывающие влияние на объем, скорость падения воды и параметры волны прорыва, являющихся основными поражающими факторами аварии такого вида. К основным параметрам поражающего действия волны прорыва относятся скорость, высота и глубина прорыва, температура воды, время существования волны прорыва. По своей физической сущности волна прорыва представляет собой неустановившееся движение потока воды, при котором глубина, ширина, уклон поверхности и скорость течения изменяются во времени. Высота и скорость волны прорыва зависят от гидрологических и топографических условий реки. Например, для равнинных районов скорость волны прорыва колеблется от 3 до 25 км/ч, а для горных и предгорных мест имеет величину порядка 100 км/ч. Лесистые участки замедляют скорость и уменьшают высоту волны. Прорыв

плотин приводит к затоплению местности и всего, что на ней находится, поэтому строить жилые и производственные здания в этой зоне запрещено.

Прорыв плотины приводит к затоплению местности. Зона затопления образуется следующим образом. Вслед за фронтом волны прорыва высота ее начинает интенсивно увеличиваться, достигая через некоторое время максимума, превышающего бровки берегов реки, в результате чего начинается затопление пойм. После прекращения подъема уровней по всей ширине потока наступит более или менее длительный период движения, близкий к установившемуся. Последней фазой образования зоны затопления является спад уровней. После прохождения волны прорыва остается переувлажненная пойма и сильнодеформированное русло реки.

Так как волна прорыва является основным поражающим фактором при разрушении гидротехнического сооружения, то для определения показателей обстановки в зоне катастрофического затопления необходимо определить ее параметры: высоту волны, глубину потока, скорость движения и время добегания различных характерных точек волны (фронта, гребня, хвоста) до расчетных створов, расположенных на реке ниже гидроузла, а также длительность прохождения волны через указанные створы и время ее спада.

В настоящее время существует программа «Волна», позволяющая определять параметры волны прорыва, возникающие при аварии на гидротехнических сооружениях. На основе полученных результатов расчета по данной программе принимается решение по организации выполнения мероприятий по защите населения и территории в опасных зонах катастрофического затопления местности.

Сформировавшаяся волна прорыва состоит из двух частей – зоны подъема уровней воды и зоны их спада. Начало волны – фронт волны, или лоб волны. Зона наибольшей высоты волны называется гребнем, а конец – хвостом. Поэтому в задачу расчета волны прорыва входит определение ее основных параметров на заданных участках русла реки: высоты волны H_b , максимальной глубины потока:

$$H_{\max} = H_b + h_6, \quad (2)$$

где h_6 – бытовая глубина в реке, скорости движения и времени добегания различных

характерных точек волны (фронта, гребня, хвоста).

Время T прохождения волны прорыва через створ «0» рассчитывают по формуле

$$T_0 = \frac{W_{\text{НПУ}} A}{3600 Q_{\text{нач}}}, \quad (3)$$

где $W_{\text{НПУ}}$ – объем водохранилища при НПУ, м^3 ; A – коэффициент неравномерности; $Q_{\text{нач}}$ – начальный расход через проран, $\text{м}^3/\text{с}$.

Скорость добегания гребня, фронта, хвоста волны до расчетного створа находят по формуле

$$C = 0,9 \cdot 10^{0,3b/B} \left(\frac{b}{B} \right)^{1/4} H^{1/2}, \quad (4)$$

где b – ширина прорана по урезу воды в створе гидроузла при отметке НПУ; B – длина плотины, м ; H – высота волны соответственной гребню, фронту и хвосту волны, м .

Время добегания гребня, фронта, хвоста волны до расчетного створа рассчитывают по формуле

$$t_{\text{рп}} = \frac{L}{C}, \quad (5)$$

где L – расстояние до расчетного створа, м ; C – скорость движения гребня, фронта и хвоста волны, $\text{м}^3/\text{с}$.

Приведем пример оценки последствий аварийной (чрезвычайной) ситуации на реке Солянка Озинского района Саратовской области для различных сценариев развития гидродинамической аварии, параметров зон затопления и негативного воздействия на окружающую среду (рис. 1).

Створ плотины водохранилища расположен в 4 км северо-западнее с. Солянка. Назначение водохранилища на р. Солянка Озинского района Саратовской области – аккумулярование поверхностного стока с целью водоснабжения села Солянка.

Класс капитальности гидротехнических сооружений – IV. Опасные складываемые отходы отсутствуют. По степени опасности ГТС относится к IV классу, уровень безопасности нормальный. В состав гидроузла входят: земляная плотина, насыпная; паводковый водосброс – монолитный железобетонный с сегментными затворами; водосбросная труба – 1 нитка асбестоцементной трубы (резервная

Рис. 1. Земляная плотина водохранилища на реке Солянка

труба с чрезвычайно низкой функциональной способностью); ледозащитное устройство – из железобетонных свай в виде куста.

В соответствии с конструктивными особенностями гидротехнических сооружений водохранилища на р. Солянка при условии его эксплуатации в проектом режиме можно прогнозировать несколько сценариев развития гидродинамических аварий, ведущих к прорыву напорного фронта, образованию волны прорыва и затоплению территории, расположенной в нижнем бьефе. Сценарии развития возможных аварий водохранилища на р. Солянка приводятся в таблице

Анализируя перечень прогнозируемых четырех сценариев развития аварий гидротехнических сооружений, можно сделать следующие выводы:

с учетом наибольшей глубины (напора) воды в верхнем бьефе плотины при разви-

тии гидродинамической аварии по сценарию 1 вероятны наиболее тяжелые последствия вследствие невозможности предполоводной сработки (опорожнения) емкости водохранилища при ожидаемом высоком весеннем половодье и неготовности службы эксплуатации к устранению вышеперечисленных причин возможной аварии ГТС;

маловероятен сценарий 2, обусловленный потерей устойчивости низового откоса земляной плотины, что подтверждается отсутствием каких-либо обрушений низового откоса за многолетний период эксплуатации плотины;

наиболее вероятным представляется сценарий 3 по следующим причинам: неудовлетворительное состояние ледозащитного сооружения; предельно допустимая способность водосбросного сооружения;

маловероятен сценарий 4, связанный с фильтрацией воды через тело плотины, в сопряжениях элементов ГТС и по контакту с основанием плотины. Многолетний опыт эксплуатации и визуальные наблюдения подтверждают отсутствие фильтрации и выноса грунта.

В результате анализа сценариев развития возможных аварий на водохранилище р. Солянка было выявлено следующее: в связи с тем, что расчетные гидротехнические сооружения спроектированы с учетом невозможности пропуска паводка редкой повторяемости без перелива через гребень плотины,

Сценарии развития возможных аварий водохранилища

№ сценария	Предпосылки и этапы развития аварий на ГТС
1	Прохождение паводков редкой повторяемости, выход из строя водосбросного сооружения, переполнение водохранилища, перелив воды через гребень плотины, размыв части гребня, разрушение откосов, образование прорана, затопление территории нижнего бьефа
2	Неравномерные деформации грунтовой плотины вследствие отклонения от режима эксплуатации – образование трещин на гребне, оползание участков откосов, образование промоин, провалов с образованием прорана – возникновение волны прорыва с опорожнением водохранилища, затопление территории в нижнем бьефе гидроузла
3	Выход из строя водосбросного сооружения (выход из строя ледозащитного сооружения), переполнение водохранилища, перелив воды через гребень плотины, размыв части гребня и откосов с образованием прорана и зоны затопления
4	Усиленная фильтрация через тело и основание плотины при старении материалов тела плотины и изменении их свойств под действием внешних факторов, появление локальных мест на низовом откосе сосредоточенной фильтрации воды, оползание или обрушение низового откоса плотины, образование прорана и волны прорыва с дальнейшим разрушением плотины

условия наибольшей глубины (напора) воды в верхнем бьефе возникнут и при наиболее вероятном сценарии 3. Таким образом, при сценариях 1 и 3 возникают наиболее опасные явления перелива воды через гребень плотины. Поэтому дальнейшие расчеты ведем по наиболее тяжелому сценарию с образованием наиболее сильной волны прорыва и практически полном опорожнении водохранилища и временном затоплении территорий расположенных ниже ГТС.

Для прогнозирования волны прорыва и характеристик затопления местности при разрушении сооружений гидроузла использовали программу «Волна», версия 2.0, позволяющую оценить последствия гидродинамической аварии: определяли параметры затопления местности – максимальную глубину и ширину затопления, скорость течения, время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва, максимальный расход воды в створе, высоту волны (превышение уровня воды над уровнем бытового потока) и максимальную отметку затопления. Все перечисленные параметры в программе рассчитываются автоматически.

В качестве наиболее вероятной зоны затопления рассмотрено распространение волны прорыва вниз по руслу р. Солянка на 6 км от створа плотины. Было назначено 8 створов, не считая створа плотины.

Расчет зоны затопления производили с учетом условий эксплуатации и геометрических параметров сооружений на момент проведения обследования; эксплуатационных характерис-

тик створа гидроузла (объем, глубина, площадь водного зеркала и ФПУ водохранилища); характеристик нижнего бьефа плотины (глубина, ширина и скорость течения); степени разрушения гидроузла и высота порога бреша; топографических данных створов, расположенных ниже по течению воды.

Рассчитанная зона затопления в створе 1 при развитии наиболее тяжелого сценария аварии представлена на рис. 2, и в створе 8 – на рис. 3.

Анализ зоны затопления в створе 1 показывает, что время добегания гребня волны составит 4 мин, максимальная высота 5 м, время затопления 778 мин.

Авария гидроузла – прорыв плотины на р. Солянка – приведет к образованию очагов поражения наводнения в створе 1, а в створе 8 максимальная высота затопления составит 2 м, максимальная скорость 0 м/с, время добегания гребня 58 мин, время затопления 2305 мин.

Анализируя зону затопления, прогнозируемую от возможного прорыва плотины на р. Солянка, в зону затопления не попадают населенные пункты, промышленные предприятия, дороги с асфальтовым покрытием, мосты, сельскохозяйственные угодья и леса.

Согласно Постановлению Правительства РФ от 21.05.07 № 304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» авария на ГТС водохранилища на р. Солянка относится к чрезвычайной ситуации муниципального характера, так как при прорыве плотины водохранилища на р. Солянка зона чрезвычайной ситуации не выходит за пределы территории объекта; в случае гидродинамической аварии не будет нанесен ущерб жизни и здоровью людей, имуществу физических, юридических лиц и окружающей среде, а общий размер материального ущерба, вызванный нарушением водоснабжения из-за аварии водозаборных сооружений, составит не более 5 млн руб. [10]. Степень риска аварии ГТС водохранилища на р. Солянка по результатам расчета оценивается как малая.

С целью обоснования необходимости предотвращения аварийных ситуаций, связанных с природными катаклизмами, или с человеческим фактором, необходимо проводить достоверную оценку возможных последствий, обусловленных распространением волны прорыва, которая может возникнуть при внезапном разрушении грунтовых со-

Рис. 2. Зона затопления в створе 1 при развитии наиболее тяжелого сценария аварии гидротехнического сооружения

Рис. 3. Зона затопления в створе 8 при развитии наиболее тяжелого сценария аварии гидротехнического сооружения

оружений, а определение общего реально-го ущерба необходимо для декларирования гидротехнических сооружений и обоснования экономической эффективности проведения работ по строительству, капитальному ремонту и реконструкции ГТС [2– 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдразаков Ф.К., Лазарева А.А. Оценка надежности оросительных каналов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 4. – С. 42–43.

2. Анализ и оценка целесообразности инвестиционных проектов для сельскохозяйственного природопользования / Ф.К. Абдразаков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 2. – С. 37–40.

3. Абдразаков Ф.К., Поморова А.В. Инвестиционный процесс в сельскохозяйственном гидротехническом строительстве // Наука молодых: сборник материалов Междунар. науч. конф. / под ред. З.В. Поливары, Т.Н. Пановой, М.А. Комиссаровой. – М., 2015. – С. 131–136.

4. Абдразаков Ф.К., Ткачев А.А., Поморова А.В. Экономическое обоснование инвестиционных проектов строительства, реконструкции или капитального ремонта объектов природопользования // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 5. – С. 65–68.

5. Михеева О.В., Панкова Т.А. К вопросу об эксплуатационной надежности грунтовых плотин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2012. – № 7. – С. 56–60.

6. Панкова Т.А., Михеева О.В., Орлова С.С. Исследование эксплуатационного состояния оросительных каналов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 6. – С. 65–68.

7. Панкова Т.А., Орлова С.С. Оценка эксплуатационного состояния водосбросного сооружения на балке Курдюм Саратовского района у села Клещевка Саратовской области // Пути повыше-

ния эффективности орошаемого земледелия. – 2015. – Вып. № 2 (58). – С. 132–135.

8. Панкова Т.А. Оценка эксплуатационного состояния водосбросного сооружения // Научная жизнь. – 2014. – № 1. – С. 48–52.

9. Михеева О.В., Панкова Т.А. К вопросу об эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений Марьевского водохранилища Перелюбского района Саратовской области // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2013. – № 12. – С. 48–52.

10. Орлова С.С., Абдразаков Ф.К., Панкова Т.А. Оценка ущерба объектам сельскохозяйственного назначения от аварии на грунтовой плотине // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 6. – С. 63–66.

Абдразаков Фярид Кинжаевич, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Панкова Татьяна Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Орлова Светлана Сергеевна, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

Сирота Валерий Тимофеевич, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.
Тел.: (8452) 74-96-01.

Ключевые слова: гидродинамическая авария; гидротехнические сооружения; волна прорыва; зона затопления; оценка.

FORECAST OF BREAKING WAVE PARAMETERS IN THE HYDRODYNAMIC ACCIDENTS AT THE DAM

Abdrzakov Fyarrid Kinzhaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the chair "Construction, Heat and Gas Supply, Power Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Pankova Tatiana Anatolyevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply, Power Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Orlova Svetlana Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction, Heat and Gas Supply, Power Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Sirota Valeriy Timofeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Construction,

Heat and Gas Supply, Power Supply", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

Keywords: hydrodynamic accident; waterworks; breaking wave; the flood zone; evaluation.

The article presents the results of evaluation of the effects of an emergency situation on the river Soljanka (Ozinky district of the Saratov region), for a variety of scenarios for the hydrodynamic accident. Parameters of the flood zone and the possible negative impact on the environment are determined.