

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПРОРЫВА И ЗОНЫ ЗАТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРИ АВАРИИ НА ПЛОТИНЕ

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

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

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

Анализируя произошедшие аварии гидротехнических сооружений на грунтовых плотинах, можно делать прогнозы вероятности возникновения аварийных ситуаций и рассчитать возможные последствия. Прогнозирование распространения волны прорыва в результате аварии проведено на примере гидротехнических сооружений плотины у пруда Жадовский Дергачевского района Саратовской области. Определены основные параметры поражающего действия волны прорыва: ее скорость, высота, глубина и время существования. По результатам расчета на карте представлена зона затопления территории с максимальной шириной 138,77 м.

Введение. По статистике, аварии и повреждения гидротехнических сооружений на грунтовых плотинах происходят довольно часто. Причинами возникновения подобных аварий являются различные факторы, которые могли возникнуть еще на стадии проектирования и строительства или уже в процессе эксплуатации. Точные причины, как правило, устанавливаются уже после возникновения аварийной ситуации. Однако при использовании современных методов анализа накопленной информации о произошедших авариях, можно делать прогнозы вероятности возникновения аварийных ситуаций и рассчитывать их возможные последствия.

Основными причинами разрушения грунтовых плотин являются проблемы с грунтами основания или нехватка пропускной способности гидротехнических сооружений. Проблемы с грунтами основания проявляются при первом заполнении водохранилища. Недостаточность пропускной способности характерна в основном для некрупных ирригационных плотин [3].

Недостаток пропускной способности является следствием неправильного расчета паводкового расхода, при котором пропуск воды через водосброс и водоспуск превышает расчетные значения, и сооружения с ним не справляются; неисправного состояния водопропускных сооружений во время прохождения паводка; аварий плотин, расположенных выше по течению [1]. В результате происходит перелив воды через гребень плотины и ее разрушение.

Самыми опасными последствиями при аварии на плотине являются прорыв напорного фронта и возникновение волны прорыва, кото-

рая, распространяясь в нижнем бьефе гидроузла, может привести к огромным экономическим потерям, экологическим катастрофам и социальным последствиям [5].

Цель исследования – спрогнозировать распространение волны прорыва в результате гидродинамической аварии на грунтовой плотине и оценить последствия подтопления территории.

Методика исследований. Оценка возможных последствий в результате аварии проведена на примере гидротехнических сооружений на пруду Жадовский в 1 км юго-западнее села Жадовка Дергачевского района Саратовской области.

Пруд Жадовский создан для противопожарных, хозяйственных и рекреационных целей. Питается за счет грунтовых вод и атмосферных осадков. Полный объем пруда при НПУ 3252 тыс. м³; площадь зеркала при НПУ 1626 тыс. м²; глубина воды у плотины 2,2 м; отметки при НПУ – 75 м, при МПУ 5 % – 75.5 м. Пруд Жадовский аккумулирует весенний сток, осуществляя сезонное регулирование стока. Наполнение водохранилища производится за счет весеннего стока. При превышении уровня воды в водохранилище выше отметки НПУ происходит автоматический сброс воды через водосбросное сооружение. Аккумулированная вода частично разбирается на водоснабжение с. Жадовка. Для опорожнения водохранилища и забора воды используется донный водовыпуск.

Плотина глухая земляная насыпная из грунтовых материалов. Территориально плотина пруда расположена на р. Песчанка (правобережный приток р. Жестянка). По капитальности сооружение относится к IV классу. Грунт, из ко-



того отсыпано тело плотины, плотный глинистый (глина тяжелый суглинок). Отметка гребня плотины определена равной 75,7 м. Заложение верхового откоса 2,5, низового 2,25. Плотина является проезжей с шириной по гребню 8,0 м, длиной 800 м. Для въезда на плотину с двух сторон устроены съезды с уклоном 0,1.

Паводковое водосбросное сооружение представлено сифонным водосбросом, выполненным из металлической трубы диаметром 600 мм, расположенным в правом плече плотины. Для опорожнения пруда предусмотрен донный трубчатый водовыпуск.

Гидротехнические сооружения плотины на пруду Жадовский по своему функциональному назначению являются водоподпорными, в связи с чем на них возможно возникновение гидродинамической аварии с образованием волны прорыва и зоны затопления.

К числу возможных источников опасности для ГТС относятся [4]:

проявления дефектов конструкций гидротехнических сооружений при долговременной эксплуатации вследствие старения материалов и изменения их свойств под действием внешних факторов;

эксплуатация гидротехнических сооружений без соответствия требованиям нормативных документов, обеспечивающая их надежность и безопасность;

отсутствие или некачественный ремонт и обслуживание сооружений;

отсутствие или выполнение мероприятий в недостаточном объеме по обеспечению готовности службы эксплуатации объекта к локализации и ликвидации аварийных ситуаций;

боевые действия, террористические акты;

стихийные бедствия (землетрясения, ураганы, наводнения, ливни и др.).

В соответствии с конструктивными особенностями ГТС пруда Жадовский Дергачевского района Саратовской области при условии его эксплуатации в проектном режиме можно прогнозировать несколько сценариев развития аварий [4].

Сценарий 1. Превышение фактических паводковых расходов над расчетными в связи с прохождением паводков редкой повторяемости, перелив воды через гребень плотины, разрушение гребневой зоны плотины с образованием прорана, формирование волны прорыва с затоплением территории.

Сценарий 2. Неравномерные деформации грунтовой плотины вследствие отклонения от нормального эксплуатационного режима – с образованием трещин на гребне, оползанием отдельных участков откосов, образованием промоин, провалов с образованием бреши – возникновением волны прорыва с последующим опорожением водохранилища, затоплением территории в нижнем бьефе гидроузла.

Сценарий 3. Повреждения отдельных элементов водосбросного сооружения, отказ гидромеханического оборудования, полное наполнение водохранилища с переливом воды через гребень плотины и размывом части гребня и откосов с образованием прорана и зоны затопления.

Сценарий 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.

Сценарий 5. Террористический акт, техногенные и природные катастрофы, создающие угрозу разрушения напорного фронта с образованием прорана и зоны затопления.

Анализ перечня прогнозируемых 5 сценариев развития аварий ГТС показывает: с учетом наибольшей глубины (напора) воды в верхнем бьефе плотины при развитии гидродинамической аварии по сценарию 1 вероятны наиболее тяжелые последствия; наиболее вероятным представляется сценарий 3, когда повреждения отдельных элементов водосбросного сооружения или отказ гидромеханического оборудования приводят к полному наполнению водохранилища с переливом воды через гребень плотины, и размывом части гребня плотины и откосов с образованием прорана и зоны затопления; сценарии 2, 4 и 5 маловероятны [4].

В связи с тем, что расчетные ГТС спроектированы с учетом невозможности пропуска паводка редкой повторяемости без перелива через гребень 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: перелив воды через гребень плотины, образование волны прорыва и, как следствие, зона затопления местности в нижнем бьефе гидроузла.

При прохождении волны прорыва в пойме реки вода, вышедшая из берегов, сметает любые преграды и приводит к разрушению зданий и сооружений, находящихся на ее пути. Поэтому при расчете определяют параметры динамического взаимодействия волны прорыва с сооружениями, а также параметры ее распространения в областях поймы реки [7].

В первой фазе гидродинамической аварии возникает прорыв плотины, представляющий собой процесс образования прорана, через который неуправляемый поток воды из верхнего бьефа водохранилища устремляется в нижний бьеф [6]. Поток воды, устремляющийся в проран, образует волну прорыва, имеющую значительную скорость движения и обладающую большой разрушительной силой. Таким образом, волна прорыва при





гидродинамической аварии связана с возникновением чрезвычайной ситуации, связанной с потоком воды при значительных скоростях.

К основным параметрам волны прорыва, приводящим к катастрофическим последствиям, относятся: высота и глубина прорана, скорость движения водного потока и температура воды, время существования волны. Физическая сущность волны прорыва – это неустановившееся движение потока воды, при котором основные параметры изменяются во времени.

Неустановившееся движение представляет собой наиболее общий вид движения, по отношению к которому установившееся является частным случаем, точно так же, как равномерное движение представляет собой частный случай неравномерного. Неустановившееся движение фактически переходит в установившееся, если в водотоке имеется длинный участок, близкий к призматическому, т.е. неравномерное движение на части этого участка практически переходит в равномерное. Установившееся движение может смениться неустановившимся в случае, если какая-либо причина вызовет в одном из створов бьефа изменение расхода во времени, а следовательно, уровня и прочих параметров режима.

Разрушение плотины и прорыв напорного фронта приводят к затоплению местности. Зона затопления образуется постепенно, по мере прохождения волны по руслу реки. Вслед за фронтом волны прорыва ее высота начинает интенсивно увеличиваться, и через определенный промежуток времени достигает максимального значения, превышающего бровки берегов реки, в результате чего начинается затопление поймы [2]. После того как уровень воды по всей ширине потока прекращает подниматься, наступает более или менее длительный период движения воды, близкого к установившемуся. Конечной фазой образования зоны затопления территории является спад уровня воды. В результате прохождения волны прорыва русло реки сильно деформируется, а пойма какое то время остается переувлажненной.

Учитывая, что волна прорыва является основным поражающим фактором при гидродинамической аварии на гидротехнических сооружениях, то для оценки последствий в зоне катастрофического затопления территории 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.

Для прогнозирования волны прорыва и характеристик затопления территории при разрушении сооружений гидроузла была использована программа «Волна», версия 2.0. Данная программа позволяет оценить последствия гидродинамической аварии. Используя исходные данные по гидроузлу, определяют параметры затопления территории: максимальные глубины затопления, ширину затопления и скорости течения; время прихода фронта, гребня и хвоста волны прорыва до рассматриваемых створов, максимальные расходы воды в створах, высоту волны (превышение уровня воды над уровнем бытового потока) и максимальные отметки затопления.

Исходные данные по гидроузлу представлены в табл. 1.

Результаты исследований. Отчет о работе в программе «Волна» версия 2.0 представлен в табл. 2 и на рис. 1–5.

Аварии гидроузлов (прорыва плотин и разрешения гидротехнических сооружений) приводят к образованию очагов поражения наводнения. Очаг поражения наводнения – это территория, в пределах которой произошло затопление местности, были повреждены или разрушены здания, сооружения и другие объекты, погибли или травмировались люди, животные, был уничтожен урожай сельскохозяйственной продукции, произошла порча или уничтожение сырья, топлива, продуктов питания и др. Таким образом, гидродинамическая авария может нанести большой социально-экономический ущерб.

Таблица 1

Исходные данные по гидроузлу

| Характеристики створа гидроузла | Параметр | Единица измерения | Значение |
|---|----------|--------------------|----------|
| Объем пруда | Wв | млн м ³ | 3,252 |
| Глубина пруда у плотины | Hв | м | 2,3 |
| Площадь зеркала пруда | Sв | млн м ² | 1,626 |
| Ширина пруда у плотины | Bв | м | 632 |
| Глубина реки в нижнем бьефе гидроузла | Hбо | м | 0,3 |
| Ширина реки в нижнем бьефе гидроузла | Bбо | м | 7 |
| Скорость течения в нижнем бьефе гидроузла | Vбо | м/с | 0,5 |
| Глубина пруда у плотины на момент разрушения ГУ | Hр | м | 2,7 |
| Степень разрушения гидроузла | Ер | | 0,1 |
| Высота порога бреша | р | м | 0 |
| Отметка уреза воды пруда | Zв | м | 75 |

Отчет о работе в программе «Волна» версия 2.0

| Параметры прорыва | № створа | | | | | | | |
|--|----------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| | | | 0 ст. | 1 ст. | 2 ст. | 3 ст. | 4 ст. | 5 ст. |
| Удаление створа от гидрорузла | Lci | км | 0 | 0,3 | 0,7 | 1,9 | 3,5 | 4,7 |
| Максимальный расход воды в створе | Qi | т.м3/с | 0,18 | 0,09 | 0,1 | 0,13 | 0,12 | 0,12 |
| Максимальная скорость течения | Vi | м/с | 2,2 | 2,75 | 2,88 | 0,2 | 2 | 0,18 |
| Высота волны | Hgi | м | 1,29 | 1,34 | 1,02 | 0 | 0,42 | 0 |
| Максимальная глубина затопления | Hi | м | 1,59 | 2,34 | 2,52 | 1,5 | 2,12 | 1,2 |
| Максимальная отметка затопления | Zi | м | 74,29 | 69,44 | 69,02 | 67,9 | 67,22 | 66,5 |
| Время добегания фронта волны | Tfi | мин | 0 | 2,5 | 5,19 | 18,18 | 45,07 | 63,48 |
| Время добегания гребня волны | Tri | мин | 0 | 4,15 | 11,17 | 12,35 | 35,81 | 36,99 |
| Время добегания хвоста волны | Txi | мин | 1452,4 | 1462,4 | 1475,74 | 1515,74 | 1569,07 | 1609,07 |
| Время затопления | Tзт | мин | 1452,4 | 1459,9 | 1470,55 | 1497,55 | 1524 | 1545,59 |
| Максимальная ширина затопления по левому берегу | | м | 138,77 | 89,11 | 90,77 | 111,55 | 96,47 | 120,88 |
| Максимальная ширина затопления по правому берегу | | м | 138,77 | 58,05 | 75,54 | 110,25 | 96,47 | 120,82 |

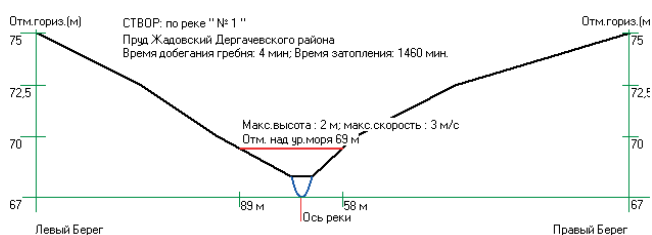


Рис. 1. Параметры волны прорыва в створе 1

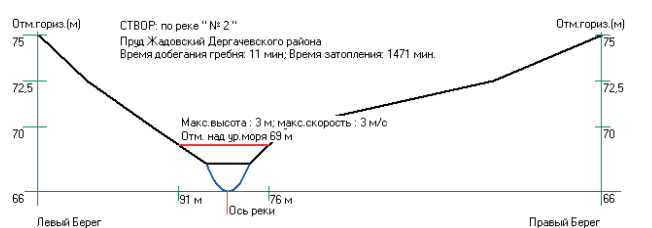


Рис. 2. Параметры волны прорыва в створе 2

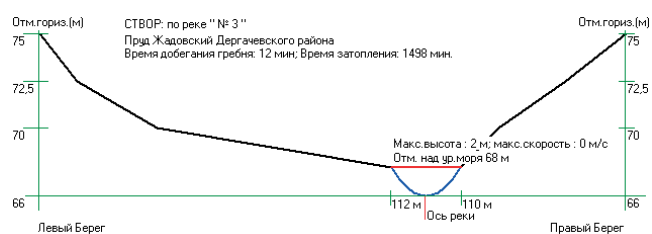


Рис. 3. Параметры волны прорыва в створе 3



Рис. 4. Параметры волны прорыва в створе 4

Катастрофическое затопление в результате разрушения гидротехнических сооружений заключается в стремительном затоплении территории водой, вышедшей из берегов реки под воздействием волны прорыва и возникновении наводнения. В качестве наиболее вероятной зоны затопления было рассмотрено распространение волны прорыва вниз по руслу р. Малая Песчанка на 4,7 км от створа плотины.

Расчет зоны затопления производится с учетом следующих условий:

условия эксплуатации и геометрические параметры сооружений на момент проведения обследования;

эксплуатационные характеристики створа гидрорузла (объем, глубина, площадь водного зеркала водохранилища);

характеристики нижнего бьефа плотины (глубина, ширина и скорость течения);

степень разрушения гидрорузла и высота порога бреша;

топографические данные створов, расположенных ниже по течению воды (5 створов, не считая створа плотины «0»).

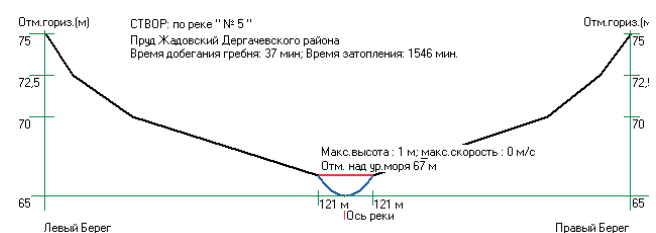


Рис. 5. Параметры волны прорыва в створе 5



Приложение 1 Карта зоны затопления местности при аварии ГТС пруда Жадовский М1:25000

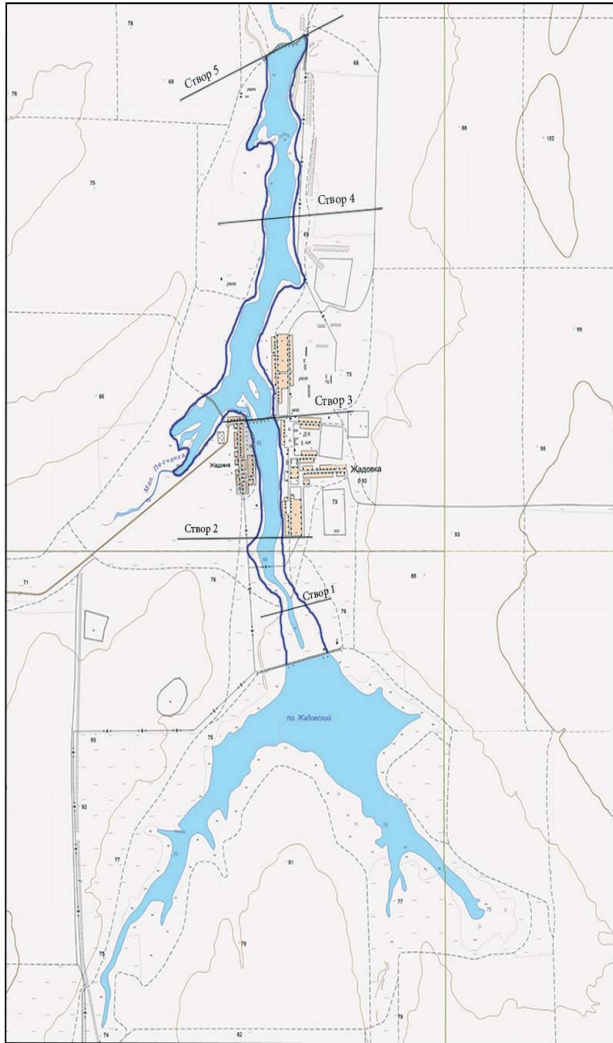


Рис. 6. Карта зоны затопления местности при аварии ГТС пруда «Жадовский». М 1:25000.

Расчитанная зона затопления при развитии наиболее тяжелого сценария аварии представлена на рис. 6.

Заключение. По результатам расчета максимальная ширина затопления составила 138,77 м. В зону затопления не попадают населенные пункты, промышленные предприятия, дороги с асфальтовым покрытием, мосты, сельскохозяйственные угодья и леса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Проблемы эксплуатационной надежности и безопасности грунтовых плотин // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 1. – С. 42–47.
2. Натишвили О.Г. Установление высоты волны разрушения для невысоких земляных плотин // Экологические системы и приборы. – 2013. – № 6. – С. 37–41.
3. 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.
4. Оценка надежности и риска гидродинамической аварии на плотине / Ф.К. Абдразаков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 12. – С. 61–65.
5. Прогноз параметров прорывной волны при гидродинамической аварии на плотине / Ф.К. Абдразаков [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2017. – № 1. – С. 35–39.
6. Черных О.Н., Волков В.И., Бурлаченко А.В. Проблемы безопасности территорий нижнего бьефа столичных прудов // Природообустройство. – 2017. – № 1. – С. 47–55.
7. Яценко Е.С., Анисимова Д.А. Оценка последствий гидродинамической аварии на Склюихинском водохранилище по имитационным параметрам волны прорыва плотины // Известия Алтайского государственного университета. – 2014. – № 3–2 (83). – С. 140–143.

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

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.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-51.

Ключевые слова: прогноз; грунтовая плотина; гидротехнические сооружения; волна прорыва; зона затопления.

FORECASTING OF BREAKOUT WAVE AND ZONES OF FLOODING OF THE TERRITORY AT DAM ACCIDENT

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

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

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

Keywords: forecast; ground dam; hydraulic structures; break-

out wave; flooding zone.

Analyzing the accidents that have already occurred at the hydraulic structures on the ground dams, it is possible to make forecasts of the probability of occurrence of emergency situations and to calculate the possible consequences. Forecasting of the breakout wave propagation as a result of the accident was carried out using the example of hydraulic structures of the dam near the pond of Zhadovskiy (Dergachevsky district, Saratov region). The main parameters of the damaging effect of the breakthrough wave are determined by its speed, height, depth and lifetime. Based on the calculation results, the map shows the zone of flooding of the territory with a maximum width of 138.77 m.

