Калинок А.И

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ»
МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 532.628:614.843

СТРИГАНОВА
Марина Юрьевна

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЛНЫ ПРОРЫВА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

по специальности 05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях

Минск, 2010

Работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Научный руководитель: **Карпенчук Игорь Васильевич**, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Пожарная аварийно-спасательная техника» Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Официальные оппоненты: **Михневич Эдуард Иванович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Водоснабжение и водоотведение» Белорусского национального технического университета

Левкевич Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором устойчивого развития Государственного научного учреждения «Институт экономики Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация: РУП «Институт мелиорации» Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию

Защита состоится 16 сентября 2011 г. в 14^{30} на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, актовый зал, г. Минск, 220118, тел.: +375 (17) 345-33-54, e-mail: mail@kii.gov.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Автореферат разослан 13 августа 2011 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник В.А. Кузьмицкий

ВВЕДЕНИЕ

Конец XX и начало XXI века характеризуется в истории развития человеческого общества опасным ростом количества и масштабов различных аварий и катастроф. Наиболее опасными являются аварии на крупных экологически уязвимых объектах, к которым относятся многие водохозяйственные сооружения (плотины, водохранилища, дамбы).

На территории Республики Беларусь находится более 100 водохранилищ объемом более 1,0 млн. $м^3$ каждое. Подпорными сооружениями на них являются грунтовые плотины или дамбы. При авариях, катастрофах, антропогенных причинах разрушение грунтовых плотин, происходит очень динамично за короткий промежуток времени. Особенностью разрушения таких гидротехнических сооружений является образование волны прорыва. Следствием гидродинамических аварий является катастрофическое затопление местности и таранное воздействие волны прорыва на людей и сооружения.

В Республиканском центре управления и реагирования на чрезвычайные ситуации Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь использовалась программа расчета параметров волны прорыва «Волна-2», разработанная в России в 1998 году. Использование данной программы имеет ряд существенных недостатков, влияющих на точность результатов при определении параметров волн прорыва и построения зон катастрофического затопления. Главным недостатком является то, что она не приспособлена для работы с корпоративной геоинформационной системой МЧС и не может быть использована для автоматического построения зон возможного затопления на электронных картах.

Научная новизна заключается в оригинальном подходе по совмещению известных исследований и результатов Б.Л.Историка и В.М.Ляхтера с собственными научными исследованиями в части адаптации их к условиям Республики Беларусь, сокращении количества исходных данных и обеспечении достоверности проведенных расчетов.

Таким образом, разработка и утверждение собственных методик, программы расчета параметров волны прорыва и программы построения зон затопления, совмещенных с ГИС МЧС применительно к гидроморфометрическим параметрам Республики Беларусь, является актуальной задачей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. В настоящее время Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь реализуется единая государственная научно-

техническая политика в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера, в числе которых особое место занимают чрезвычайные ситуации, связанные с авариями на гидротехнических сооружениях напорного фронта. Основные результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований, разработки, методики и рекомендации, представленные в настоящей диссертации, содействуют выполнению задач в реализации единой государственной научно-технической политики МЧС. Диссертационная работа выполнена в соответствии с приоритетными направлениями фундаментальных и прикладных исследований Республики Беларусь на 2006–2010 годы (постановление Совета Министров РБ от 17 мая 2005 г. № 512) в части п. 8.4 «методы мониторинга окружающей среды, прогнозирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного и природного характера».

Результаты диссертационных исследований были получены в ходе выполнения:

задания 14 «Разработка методики и программного средства для прогнозирования воздействия волны прорыва при разрушении гидротехнических сооружении напорного фронта» ГППИ «Снижение рисков чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 2006681);

задания 34 «Разработать методическое и программное обеспечение для расчета и визуализации на электронной карте зон затопления при прорыве гидротехнических сооружений» ГНТП «Защита от чрезвычайных ситуаций» (№ госрегистрации 20082287).

Цель и задачи исследования. *Целью настоящей работы* является разработка методов оценки параметров волны прорыва с последующим прогнозированием последствий чрезвычайных ситуаций при разрушении гидротехнических сооружений напорного фронта.

Для достижения поставленной цели *решались следующие задачи*:

1. Гидродинамическое моделирование неустановившегося движения потока при разрушении плотины и образования волны прорыва.

2.Экспериментальные исследования возникновения и распространения волны прорыва в лабораторном призматическом лотке.

3. Разработка методики расчета параметров волны прорыва.

4. Разработка методики построения графика прохождения волны прорыва по водотоку и построения зон затопления.

5. Разработка алгоритма программы построения зон затопления, совместимой с корпоративной ГИС МЧС Республики Беларусь.

6. Использование полученных методического и программного обеспечений для прогнозирования инженерной обстановки и последствий при гидродинамических авариях.

Объектом исследования является волна прорыва, возникающая при чрезвычайных ситуациях, связанных с разрушением гидротехнических сооружений напорного фронта, **предметом исследований** – гидродинамические параметры волны прорыва.

Положения, выносимые на защиту:

1. Аналитические зависимости максимальных высоты и скорости тела волны прорыва от напора на подпорном сооружении, его удаления от расчетного створа, среднего уклона и шероховатости русла, полученные в результате решения уравнений пространственно изменяющегося неустановившегося движения воды по водотоку с учетом гидроморфометрических параметров рек Республики Беларусь, для которых гидравлический радиус принят равным средней глубине.

2. Определенные на модельном эксперименте в призматическом лотке при внезапном исчезновении преграды значения высоты и скорости волны прорыва согласуются с результатами теоретических расчетов, уточняют количественные значения данных параметров и определяют их зависимость от напора и удаления от подпорного сооружения.

3. Разработанная на основании уравнений для пространственно изменяющегося неустановившегося движения воды по водотоку методика расчета параметров волны прорыва, учитывающая зарегулированность водотока и влияние пойменных участков, определяет геометрические, кинематические и временные параметры волны прорыва (высоту волны, глубину потока, скорости фронта, гребня и хвоста волны, время опорожнения водохранилища при аварии, время прохождения волны через расчетный створ, времена добегания фронта, гребня и хвоста волны), включая график прохождения волны прорыва по водотоку и динамику зон затопления, что составляет необходимую и достаточную информацию для планирования мероприятий по защите населения и объектов.

Личный вклад соискателя. Содержание диссертации отражает личный вклад автора в постановку задач (совместно с научным руководителем), подготовку и проведение исследований, обработку полученных результатов, их анализ и реализацию на практике. Положения, выносимые на защиту и основные результаты диссертационной работы получены лично автором. Научный руководитель, кандидат технических наук, доцент И.В. Карпенчук сформировал цели, поставил задачи по их достижению, определил научно-техническое направление, методы исследования, внедрения и практического использования. Совместно с руководителем обсуждались результаты исследований и формулировки выводов. Соавторы публикаций (А.И.Красовский, И.М. Киевец) участвовали в выборе и анализе методов решения поставленных задач, а также в обсуждении полученных результатов.

Апробация результатов диссертации. Результаты проведенных исследований докладывались автором на пяти Международных научно-технических конференциях «Наука - образованию, производству, экономике» Белорусского национального технического университета (Беларусь, Минск, 2003, 2005, 2006, 2007, 2009 г.г.), на четырех Международных научно-практических конференциях «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» Научно-исследовательского института пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь (Беларусь, Минск, 2003, 2005, 2007, 2009 г.г.), на двух Международных научно-практических конференциях «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту» (Украина, Черкассы, 2009, 2010 г.г.).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в том числе 6 статей, соответствующих пункту 18. Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 1,5 авторского листа (из них без соавторов – 1 статья), а также 13 работ в сборниках научных трудов и материалах международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, заключения и приложений. Работа изложена на 142 страницах, содержит 27 рисунков, 2 таблицы, 7 приложений на 41 странице, библиографический список из 152 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во введении изложено обоснование выбора объекта и предмета исследования, а также актуальность исследуемой проблемы.

Первая глава посвящена обзору литературы о возможных причинах возникновения чрезвычайных ситуаций на гидродинамически опасных сооружениях, имеющих перепад уровней и напорный фронт. Рассмотрены факторы природного характера и антропогенные причины аварий.

Для определения возможности возникновения чрезвычайной ситуации изучены основные конструктивные особенности земляных плотин и дамб. Анализ литературных данных показывает, что образование волны прорыва происходит в результате размыва тела земляных плотин и дамб, которых в мире более 62%. Для оценки интенсивности размыва земляных плотин с образованием волны прорыва проведен анализ динамики размыва грунтовых плотин, который показал, что при переливе через гребень плотины размыв происходит по всему напорному фронту. Размываемый низовой откос приобретает форму безвакуумного водослива практического профиля, очерченного по координатам Кригера-Офицерова.

Фундаментальные исследования размывающей способности потока широко выполнялись и выполняются в настоящее время. Наиболее известны в этой области работы Е.А. Замарина, В.Н. Гончарова, Б.И. Студеничникова, К.В. Гришанина, И.И. Леви, О.Е. Езерского, О.Е. Лиштвана, А.Б. Колпачковой, К.Г.Серопяном и ряда других авторов. Из зарубежных исследований в данной области наиболее известны теоретические работы Т. Клауде, А. Риттера, Дж. Стокера. Общая картина размыва моделей плотин из песчаных грунтов наблюдалась примерно одинаковой во всех опытах, представленных в работах А.Н. Ляпина, Т. Клауде, А.М. Прудовского, К.В. Гришанина, В.С. Лапшенкова.

Расчеты неустановившегося движения воды в сложных системах водотоков и математическое моделирование водного режима водотоков рассмотрены в работах В.П. Рогуновича, М.И. Богдановича, Ю.И. Вап, Ф.Д. Шнипова, И.И. Федоровой.

К настоящему времени наиболее изучены размывы русел рек и каналов, местные размывы в нижних бьефах гидроузлов, водная эрозия почв. Что же касается размыва грунтовых плотин, то этот вопрос пока менее изучен. Имеется ряд работ, в которых авторы в той или иной мере, схематизируя это явление, получили приближенные зависимости для его описания, либо для определения удельных параметров потока при размыве.

На основании проведенного анализа сформулирована цель диссертационных исследований и задачи для ее реализации.

Во второй главе теоретически исследовано движение волны прорыва при гидродинамической аварии на гидротехнических сооружениях напорного фронта. Рассмотрено медленно изменяющееся неустановившееся движение жидкости на участке dl некоторого русла с площадью живого сечения в начале потока S. Расчетная схема движения волны прорыва представлена на рисунке 1.

В рамках математической модели пространственно изменяющегося неустановившегося движения тела волны прорыва для призматических русел координата свободной поверхности потока в начальном сечении обозначена через z, а средняя скорость в этом сечении через v.

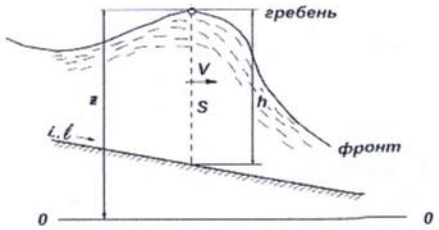


Рисунок 1 – Расчетная схема движения волны прорыва

На расстоянии dl координата z и скоростной напор $\frac{\alpha v^2}{2g}$ получат следующие приращения: dz и $d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right)$, где α - коэффициент Кориолиса. Для рек Республики Беларусь про-

дольный уклон для русел относительно мал, и определенное для потока волны прорыва ускорение, равное $\frac{\alpha_0 \partial v}{\partial t}$ (с учетом неравномерности распределения скоростей в сечение), действует по оси l, а его вертикальная составляющая, согласно принятому выше условию, мала, и ею можно пренебречь (где α_0 – коэффициент Буссинеска).

В соответствии с рисунком 1 записано уравнение сохранения полной удельной энергии

$$z + \frac{\alpha v^2}{2g} = z + dz + \frac{\alpha v^2}{2g} + d\left(\frac{\alpha v^2}{2g}\right) + i_{TP} \cdot dl + \frac{\alpha_0}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} dl \qquad (1)$$

или

$$d\left(z + \frac{\alpha v^2}{2g}\right) = -i_{TP} \cdot dl - \frac{\alpha_0}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} dl \qquad (2)$$

где i_{TP} – уклон трения; g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Уклон трения водотока можно представить в виде

$$i_{TP} = \frac{Q^2}{K^2} \qquad (3)$$

где Q – расход в сечении, м^3/с; K – расходная характеристика, м^3/с.

Для расчета расходной характеристики используется зависимость

$$K = SC\sqrt{R}, \qquad (4)$$

где C – коэффициент Шези, м^{0,5}/с; R – гидравлический радиус, м; S – площадь живого сечения потока, м^2.

Анализ кадастра рек показывает, что все реки, на которых имеются водохранилища, имеют «прямоугольный» профиль сечения, поэтому

$$R = \frac{S}{2h + b} = \frac{h \cdot b}{2h + b}. \qquad (5)$$

Учитывая, что для рек Республики Беларусь ширина значительно превышает среднюю глубину, можно принять, что гидравлический радиус равен средней глубине водотока.

С учетом формулы Н.Н.Павловского для определения коэффициента Шези после преобразований получено динамическое уравнение пространственно

изменяющегося неустановившегося движения для гребня волны прорыва, т.к. при прогнозировании чрезвычайных ситуаций важны максимальные параметры потока

$$\left(i - \frac{n^2 v^2}{h\sqrt{h}}\right) g = \left(\frac{g}{B} + \alpha_0 \frac{v^2}{gS}\right) \cdot \frac{\partial S}{\partial l} + \left(\alpha + \frac{\alpha_0}{g}\right) \cdot v \frac{\partial v}{\partial l} + \alpha_0 \frac{\partial v}{\partial t}, \qquad (6)$$

где B – ширина потока, м; n – коэффициент шероховатости, с^2/м^{0,5}; i – уклон дна русла.

Уравнение неразрывности в данном случае примет вид.

$$\frac{\partial (B \cdot h)}{\partial t} + \frac{\partial (B \cdot h \cdot v)}{\partial l} = 0 \qquad (7)$$

Выработанная гидродинамическая модель аварии при внезапном исчезновении преграды (такой вариант наиболее опасен) и предполагает разрушение грунтовой плотины или быстротечный ее размыв с образованием прерывной волны. Вследствие того, что при удалении от гидросооружения, волна приобретает пологий характер, мы считаем разработанную математическую модель приемлемой для расчетов максимальных параметров волны прорыва.

Решение системы уравнений (6) и (7) осуществлялось по методу, предложенному Б.Л.Историком и В.М.Ляхтером путем численного интегрирования в относительных величинах. В качестве продольной координаты принято расстояние от плотины до искомого створа l. Интегрирование проводилось в диапазоне расстояний $10^3 - 10^5$м и диапазоне уклонов i = 0,01 – 0,005.

После численного интегрирования, устанавливая множественную нелинейную корреляцию с применением квадратичной и экспоненциальной зависимостей, были получены формулы для определения максимальных значений скорости и высоты волны прорыва, которые имеют вид:

$$v_{max} = \frac{\beta_{max}\sqrt{H^{1,33} \cdot i}}{n\left(\frac{l \cdot i}{H}\right)^{0,37}}, \qquad (8)$$

$$h_{max} = \frac{2H^2}{l \cdot i + 3,3H}, \qquad (9)$$

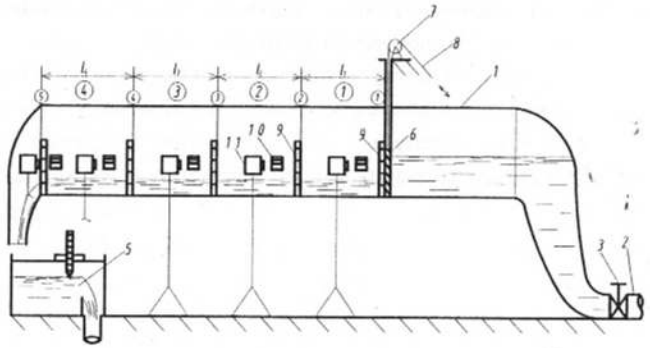
где β_{max} = 0,6 – размерный коэффициент, с/м^{0,165}; l – расстояние от плотины до расчетного створа; H – глубина водохранилища у плотины, м.

При расчете времени опорожнения водохранилища принят самый неблагоприятный случай – перелив начинается по всему фронту плотины с учетом того, что длина плотины в динамике размыва будет уменьшаться по высоте и длине. При переливе через гребень плотины низовой откос плотины деформируется и приобретает форму безвакуумного водослива практического профиля, повторяющего форму струи потока. Общее время опорожнения водохранилища или прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины равно:

$$T_0 = \frac{4{,}5\ \Omega_{нрк}}{B\sqrt{2g \cdot H}}. \qquad (10)$$

Исследовано влияние зарегулированности водотока при каскадном расположении водохранилищ и наличие пойменных участков водотока с учетом их заболоченности и залесенности на параметры волны прорыва. Впервые предложены методы расчета параметров для указанных случаев.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований по изучению движения прямой положительной волны перемещения в призматическом гидравлическом лотке для определения применимости найденных зависимостей. Схема экспериментального стенда представлена на рисунке 2. Данный экспериментальный стенд позволяет проводить эксперименты при различных расходах волны прорыва и при различных начальных напорах, обеспечивая различные скорости и высоты волны в измерительных створах.



1 – гидравлический лоток; 2 - подводная труба; 3 – задвижка; 4 – успокоитель; 5 – измерительный водослив; 6 – подвижный затвор; 7 – направляющий блок; 8 – бечевка; 9 – мерные линейки; 10 – электронные секундомеры; 11 – цифровые фотоаппараты

Рисунок 2 – Схема экспериментального стенда

Опыты в гидравлическом лотке с прозрачными стенками показали, что в призматическом канале, находящемся в нижнем бьефе, при внезапном исчезновении преграды, возникает неустановившееся движение в виде прямой положительной прерывной волны.

Волна характеризуется наличием фронта и тела. В пределах фронта наблюдается резкий рост глубины, а в теле наблюдается некоторое возрастание глубины, но незначительное и более медленное во времени.

При моделировании волны прорыва приняты следующие критерии подобия:

$$\left(\frac{l_i}{H}\right)_{модели} = \left(\frac{l_i}{H}\right)_{натуры};\ n_{модели} = n_{натуры};\ Fr_{модели} = Fr_{натуры} = \frac{\alpha \cdot v_{max}^2}{g h_{max}},$$

где Fr – число Фруда.

Результаты экспериментальных исследований позволили установить взаимосвязь изменения высоты волны прорыва во времени в различных створах и уточнить теоретические зависимости высоты и скорости волны от параметров русла (размеры, шероховатость, средний уклон), напора и удаления расчетного створа от подпорного сооружения

Сравнение теоретических зависимостей с экспериментальными данными проводилось следующим образом. В формулы (5) и (6) подставлялись значения напора H, при котором проводились эксперименты, значения уклона и коэффициента шероховатости лотка, а также расстояние до расчетного створа l и определялись максимальные значения скорости и высоты волны. Полученные расчетные значения сопоставлялись с экспериментальными данными.

В четвертой главе разработана методика расчета параметров волны прорыва, позволяющая определять все количественные характеристики (высоту волны, глубину потока, скорости фронта, гребня хвоста волны), а также все необходимые временные характеристики (время опорожнения водохранилища при аварии, время прохождения волны через расчетный створ, времена добегания фронта, гребня и хвоста волны прорыва).

Разработана методика построения графика прохождения волны прорыва по водотоку и построения зон затопления. График движения волны прорыва используется для оценки возможных последствий затопления и подготовки исходных данных для планирования мероприятий по защите населения и объектов. Представлена технология построения зон затопления, которая может быть использована на обычной карте местности в отсутствие ГИС.

Проведено компьютерное моделирование и построение зон возможного катастрофического затопления на трех наиболее гидродинамически опасных

объектах Республики Беларусь (Заславское, Вилейское и Дубровское водохранилища).

На рисунках 3, 4 представлены ситуационные карты прогнозной оценки зон затопления через 15 минут после аварии на Заславском гидроузле (зона чрезвычайно опасного затопления) и через 80 минут (зона опасного затопления).

Рисунок 3 – Зона чрезвычайно опасного затопления после аварии на Заславском гидроузле

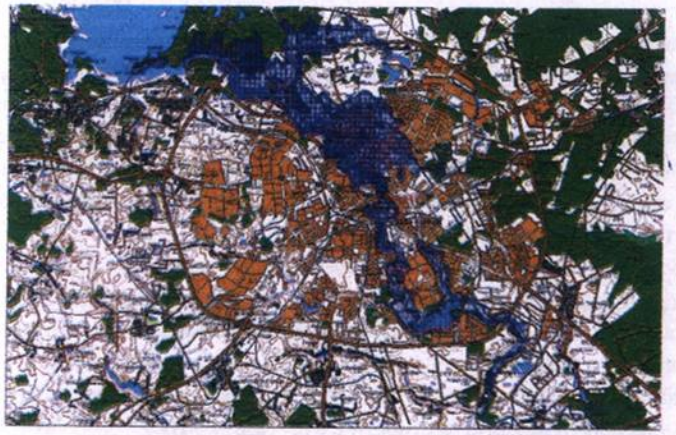


Рисунок 4 – Зона опасного затопления после аварии на Заславском гидроузле

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Записаны и решены уравнение пространственно изменяющегося неустановившегося движения тела волны прорыва и уравнение неразрывности для широких призматических русел, характерных для гидроморфометрических параметров рек Республики Беларусь, с учетом того, что гидравлический радиус равен глубине потока. Рассмотрено движение волны прорыва при гидродинамической аварии на гидротехнических сооружениях напорного фронта, определены основные параметры сооружения и водотока, влияющие на высоту и скорость волны прорыва [1–А, 2–А]. Принято, что размыв низового откоса происходит по форме и профилю безвакуумного водослива практического профиля, рассчитываемого по координатам Кригера-Офицерова. Получена зависимость для оценки времени опорожнения водохранилища от параметров гидроузла [6–А – 10–А].

2. На основании уравнения движения водного потока с учетом зависимостей для определения коэффициента Шези, предложенных Н.Н. Павловским, получены основные параметры волны прорыва, определяющие ее распространение по водотоку вдоль русла реки: максимальные высота и скорость движения [3–А – 5–А]. Предложен метод расчета параметров волны прорыва для зарегулированного водотока при каскадном расположении водохранилищ. Показано, что высота волны прорыва, вследствие растекания потока по нижележащему водохранилищу, уменьшается на 60-70%. Предложено рассчитывать напор для последующего расчета параметров волны за нижележащим в каскаде гидроузлом, как сумму высоты волны прорыва при подходе к гидроузлу и напора на гидроузле нижележащего водохранилища [11–А].

3. Экспериментально определены высота и скорость волны перемещения в призматическом лотке при коэффициенте шероховатости n = 0,011–0,013 по схеме и методу, предложенным Б.Л.Историком и В.М. Ляхтером, при мгновенном исчезновении преграды. При изменяемой величине напора для различных моментов времени определены скорость и высота волны на различном удалении от нулевого створа. Получено удовлетворительное совпадение экспериментальных данных и результатов расчета по разработанной математической модели [1–А].

4. Предложена методика расчета параметров волны прорыва с учетом разработанных теоретических зависимостей и полученных экспериментальных данных, которая позволяет определять ее геометрические и кинематические характеристики: высоту волны, глубину потока, скорости фронта, гребня хвоста волны, а также: время опорожнения водохранилища при аварии, время прохож-

дения волны через расчетный створ, времена добегания фронта, гребня и хвоста волны [12–А – 15–А, 17–А, 19–А].

5. Для планирования мероприятий по защите населения, объектов и территорий разработана методика построения графика прохождения волны прорыва по водотоку и построения зон затопления, которая связывает глубину потока с расчетными временами прохождения фронта, гребня и хвоста волны. Представленная методика построения зон затопления легко совместима с геоинформационной системой.[12–А, 13–А].

6. Разработаны программа расчета параметров волны прорыва и программа построения на электронных картах зон затопления для программного комплекса корпоративной геоинформационной системы МЧС Республики Беларусь. Проведен расчет зоны затопления для Заславского, Вилейского и Дубровского гидроузлов через 15, 40 и 80 минут после аварии. Даны рекомендации по использованию получаемых результатов для составления эффективных оперативно-тактических планов по ликвидации чрезвычайных ситуаций [11–А, 16–А – 19–А].

7. Программный комплекс, внедренный в Республиканском центре управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь (подтверждено актом внедрения) использован для расчета и построения зон затопления для 97 водохранилищ Республики Беларусь.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Методика расчета параметров волны прорыва и методика расчета и построения зон затопления использованы при разработке программной документации BY.ФДБИ 00055-ЛУ и программного обеспечения для расчета и построения в ГИС МЧС зон затопления при чрезвычайных ситуациях на гидротехнических сооружениях напорного фронта Республики Беларусь.

Проведено компьютерное моделирование и построение зон возможного катастрофического затопления на трех наиболее гидродинамически опасных объектах Республики Беларусь. Обработаны электронные карты на выбранные объекты (Заславское, Вилейское, Дубровское водохранилища). Построение зон затопления рассчитывалось и проводилось для различного времени после аварии на гидроузле. Были построены зоны чрезвычайно опасного затопления (15 мин после аварии) и зоны опасного затопления (40 и 80 мин после аварии и разрушении сооружения). На карты были нанесены следующие слои: рельеф суши, гидрография, растительность, населенные пункты и поверх перечисленного – зона затопления.

Результаты диссертационной работы внедрены в Республиканском центре управления и реагирования на чрезвычайные ситуации МЧС Республики Беларусь. Программное обеспечение для расчета и построения в ГИС МЧС зон за-

МЧС зон затопления при чрезвычайных ситуациях на гидротехнических сооружениях напорного фронта стоит на вооружении и используется при прогнозировании инженерной обстановки и последствий гидродинамических аварий на гидроузлах.

Разработанные методическое и программное обеспечение для расчета и визуализации на электронной карте зон затопления при прорыве гидротехнических сооружений напорного фронта являются наиболее точными, полными, наглядными и перспективными среди существующих аналогов, адаптированными к гидроморфометрическим условиям Республики Беларусь.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс ГУО «Командно-инженерный институт» Республики Беларусь, вошли в состав учебного пособия «Специальное водоснабжение», имеющего гриф Министерства образования и используются при проведении лекционных, практических и семинарских занятий.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах

1. Карпенчук, И.В. Расчет параметров волны прорыва применительно к конкретному случаю / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2005. – №7(17). – С. 131–136.

2. Карпенчук, И.В.Определение времени прохождения волны прорыва через створ плотины при ее разрушении / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2006. – №1(19). – С. 11–16.

3. Карпенчук, И.В. Методика определения расчетных параметров и построения графика движения волны прорыва по водотоку. / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2007. – №2(22).– С. 76–84.

4. Карпенчук, И.В. Определение параметров волны прорыва и оценка возможных последствий затопления / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Вестник Командно-инженерного института. – 2008, №2(8). – С.41–46.

5. Стриганова, М.Ю. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва и экспериментальные исследования потока в призматическом нижнем бьефе / М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – № 2 (28).– С.83–93.

6. Карпенчук, И.В. Определение параметров волны прорыва с учетом зарегулированности водотока, пойменных участков и программа построения в ГИС МЧС Республики Беларусь зон затопления при ЧС на гидротехнических сооружениях напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010. – № 2 (28).– С.73–82.

Материалы и доклады конференций

7. Карпенчук, И.В. Определение максимальных параметров волны прорыва / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова, А.И. Красовский // Наука – образованию, производству, экономике: рефераты докладов международной науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 2 / Ред. кол.: Б.М.Хрусталев [и др.]. – Мн., 2003. – С. 46.

8. Карпенчук, И.В. Расчет времени опорожнения водохранилища при разрушении напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Третьей международной науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1 / Ред. кол.: Б.М.Хрусталев [и др.].. – Мн., 2006. – С. 469–470.

9. Карпенчук, И.В. Определение времени прохождения волны прорыва через створ гидроузла при размыве и деформации плотины / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Четвертой международной науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1 / Ред. кол.: Б.М.Хрусталев [и др.].. – Мн., 2006. – С. 425–428.

10. Карпенчук, И.В. Методика определения расчетных параметров и построения графика движения волны прорыва по водотоку / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова, И.М. Киевец // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Пятой международной науч.-техн. конф. В 2 т. Т. 1 / Ред. кол.: Б.М. Хрусталев [и др.]. – Мн., 2007. – С. 353–355.

11. Карпенчук, И.В. Методическое и программное обеспечение для расчета и визуализации параметров волны прорыва и зон затопления при прорыве гидротехнических сооружений / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. докл. V Международной научн.-практ. конф.: в 2 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Мн., 2009. – С. 71–80.

12. Карпенчук, И.В. Методика и программа расчета параметров волны прорыва для построения зон затопления при гидродинамических авариях / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Наука – образованию, производству, экономике: материалы Седьмой международной науч.-техн. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Б.М. Хрусталев [и др.].. – Мн., 2009. – С. 8.

13. Карпенчук, И.В. Методика расчета параметров волны прорыва и программное обеспечение для построения зон затопления территорий при прорыве гидротехнических сооружений / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали III міжнародної наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2009. – С. 71–74.

14. Карпенчук, И.В. Математическая модель неустановившегося движения волны прорыва гидротехнических сооружений напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту: матеріали IV міжнародної наук.-практ. конф. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2010. – С. 57–60.

Тезисы докладов

15. Карпенчук, И.В. Определение скорости и глубины потока в расчетном створе при ЧС на искусственных водных объектах напорного фронта / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: тез. докл. II Международной науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 2 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев [и др.]. Мн., 2003. – С. 69–70.

16. Карпенчук, И.В. Определение времени прохождения волны прорыва через створ плотины при ее разрушении / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. III Меж-

дународной науч.-практ. конф. В 2 т. Т. 1 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев [и др.]. Мн., 2005. – С. 89–91.

17. Карпенчук, И.В. Динамика размыва грунтовой плотины при определении времени прохождения волны прорыва / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. IV Международной науч.-практ. конф. В 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Мн., 2007. – С. 112–114.

18. Карпенчук, И.В. Методическое и программное обеспечение для расчета и визуализации параметров волны прорыва и зон затопления при прорыве гидротехнических сооружений / И.В. Карпенчук, М.Ю. Стриганова // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сб. тез. докл. V Международной научн.-практ. конф.: в 3 т. Т. 2 / Ред. кол.: Э.Р. Бариев [и др.]. – Мн., 2009. – С. 38–40.

Сборник научных трудов

19. Карпенчук, И.В. Инженерная обстановка и оценка разрушений при катастрофическом затоплении территории во время прохождения волны прорыва /И.В.Карпенчук, М.Ю.Стриганова // Юбилейный сборник научных трудов работников Командно-инженерного института МЧС республики Беларусь: сб. науч. трудов / КИИ МЧС Республики Беларусь; под редакцией Г.Ф. Ласуты. – Минск, 2008. – С. 78–83

РЭЗЮМЭ

Стрыганава Марына Юр'еўна

Метады ацэнкі параметраў дзівіць ўздзеяння хвалі прарыву і прагназаванне наступстваў пры разбурэнні гідратэхнічных збудаванняў.

Ключавыя словы: вална прарыву, хуткасць валны прарыву, земляные плаціны, вадасховішча, час праходжання валны прарыву, зоны затаплення.

Мэта працы – распрацоўка метадаў ацэнкі параметраў хвалі прарыву з наступным прагназаваннем наступстваў надзвычайных сітуацый пры разбурэнні гідратэхнічных збудаванняў напорнага фронту.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія працы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных эксперыментальных даследванняў параметраў валны прарыву. Для даследвання параметраў і апрацавання вынікаў выкарыстоўваліся: ігольчасты ўзроўнямер, мерныя лінейкі (зраўнаваныя рэйкі), электронныя секундамеры, лічбавыя фотааппараты і персанальны камп'ютэр у спалучэні з матэматычнымі метадамі апрацавання эксперыментальных данных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню распрацавана матэматычная мадэль прасторна пераменьваючагася неўсталяванага руху цела валны прарыву для шырокіх прызматычных рэчышчаў, характэрных для гідраморфаметрычных параметраў рэк Рэспублікі Беларусь, прымаючы гідраўлічны радыюс роўным глыбіні патоку.

Распрацавана матэматычная мадэль азначэння часу апаражнення водасховішча пры разбурэнні земляной плаціны ў выпадку пераліва праз грэбень плаціны з яе далейшым размывам. Прапанаваны метад выліку параметраў валны прарыву з улікам зарэгуляванасці вадатоку пры каскадным размяшчэнні водасховішчаў і па пойменным участкам.

Эксперыментальна устаноўлены значэнні хуткасці і высаты валны пры розным аддаленні ад нулявога створу для розных маментаў часу ў прызматычным латке пры каэфіцыенце шурпатасці n = 0,011-0,013. Даказана задавальняючае спалучэнне разліковых і эксперыментальных данных.

Распрацавана методыка пастраення графіку праходжання валны прарыву па вадатоку і пастраення зон затаплення, каторая звязвае глыбіню патоку з разліковымі часамі праходжання фронту, грэбня і хваста валны.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі дысертацыонных даследванняў могуць быць выкарыставаны пры прагназіраванні інжэнернай абстаноўцы і вынікаў гідрадынамічных аварый на гідравузлах.

Галіна выкарыстання. Органы і падраздяленні МНС.

РЕЗЮМЕ

Стриганова Марина Юрьевна

Методы оценки параметров поражающего воздействия волны прорыва и прогнозирование последствий при разрушении гидротехнических сооружений.

Ключевые слова: волна прорыва, скорость волны прорыва, земляные плотины, водохранилище, время прохождения волны прорыва, зоны затопления.

Цель работы – разработка методов оценки параметров волны прорыва с последующим прогнозированием последствий чрезвычайных ситуаций при разрушении гидротехнических сооружений напорного фронта.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических экспериментальных исследований параметров волны прорыва. Для исследования параметров и обработки результатов использовались: игольчатый уровнемер, мерные линейки (уровненные рейки), электронные секундомеры, цифровые фотоаппараты и персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна. Впервые разработана математическая модель пространственно изменяющегося неустановившегося движения тела волны прорыва для широких призматических русел, характерных для гидроморфометрических параметров рек Республики Беларусь, принимая гидравлический радиус равным глубине потока.

Разработана математическая модель определения времени опорожнения водохранилища при разрушении земляной плотины в случае перелива через гребень плотины с последующим ее размывом. Предложен метод расчета параметров волны прорыва с учетом зарегулированности водотока при каскадном расположении водохранилищ и по пойменным участкам.

Экспериментально установлены значения скорости, и высоты волны при различном удалении от нулевого створа для различных моментов времени в призматическом лотке при коэффициенте шероховатости n = 0,011-0,013. Доказано удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Разработана методика построения графика прохождения волны прорыва по водотоку и построения зон затопления, которая связывает глубину потока с расчетными временами прохождения фронта, гребня и хвоста волны.

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при прогнозировании инженерной обстановки и последствий гидродинамических аварий на гидроузлах.

Область применения. Органы и подразделения МЧС.

SUMMARY

Mrs. Striganova Marina

The methods for estimating the parameters of a break wave's damaging effects and the prediction of the consequences in case of the destruction of waterworks.

Key words: brake wave, brake wave speed, earthen dams, water reservoir, time of the brake wave passing, flood zones.

Objective – the development of the assessment of the parameters of the break wave with the consequent prognostication of the emergency situations effects in case of the destruction of waterworks of waterfront.

Research methodology and equipment. General methodology provided combination of theoretical experimental researches of the parameters of the brake wave. For the research of the parameters and data processing the following accessories were used: needle level gage, measured ruler (reiki level), electronic stop-watch, digital cameras and personal computer in combination with mathematic methods of experimental data processing.

Achieved results and their novelty. Mathematic model of spatially changing unsteady movement of the body of the brake wave for wide prismatic channels, which are typical for gidromorfometricheskih options of the rivers of the Republic of Belarus, is developed for the first time, making hydraulic radius equal to the length of the stream.

Mathematic model of determination of the time of emptying of the water reservoir at destruction of the earthen dam in case of spillover over the dam crest with its further washaway is developed. Method of calculation of the brake wave parameters is proposed, taking into account regulation of the water flow at cascaded disposition of the water reservoirs and on inundation plots.

Speed values and wave height are experimentally determined at different distance from zero section line for different moments of time in prismatic conduit at roughness coefficient n = 0,011-0,013. Satisfactory hit of calculation and experimental data is proved.

Methodology of construction of a diagram of brake wave passing through the water flow and modeling of the flood zones was developed, the methodology is connecting the depth of the flow with estimated times of passing of the front, crest and wave tail.

Recommendations on the use. The results of the dissertation researches can be used at forecasting of the engineer situation and consequences of hydro dynamic accidents at hydro systems.

Application field: organs and divisions of the MES.