

УДК 004.42:632.123.1

ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

А.А. ЗИНОВЬЕВ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
П.Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь

Поступила в редакцию 28 июля 2014

Рассмотрена необходимость автоматизации расчетов параметров чрезвычайной ситуации при аварии на гидрологических сооружениях. Приведена математическая модель прогнозирования параметров гидрологической чрезвычайной ситуации при разрушении гидроузла. Была произведена разработка программного модуля по автоматизации прогнозирования и оценки обстановки в чрезвычайной ситуации и возможных последствий затопления в случае прорыва водного узла.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, авария, волна прорыва, зона затопления.

Введение

Среди стихийных бедствий на территории Республики Беларусь одними из наиболее распространенных являются наводнения, которые могут возникать как за счет природных явлений циклического характера, так и из-за аварий на гидротехнических сооружениях. Старение и износ основных фондов водного хозяйства, отсутствие должного надзора за безопасной эксплуатацией делают прорыв плотин водохранилищ и накопителей стоков все более реальным, что может привести к катастрофическим последствиям. Все гидросооружения, в той или иной степени, удерживают в своей системе огромные объемы кинетической энергии водных масс. Всегда аварии на гидротехнических сооружениях сопровождались масштабными последствиями: гибелью людей, разрушением жилищ, разрушением объектов экономики, ухудшением и деградацией окружающей среды и пр. [1]. Основными поражающими факторами катастрофического затопления являются: волна прорыва (высота волны, скорость движения) и длительность затопления. Волна прорыва – волна, образующаяся во фронте устремляющегося в пролом потока воды, имеющая, как правило, значительную высоту гребня, скорость движения и обладающая большой разрушительной силой. Поэтому волну прорыва следует рассматривать как определенную массу воды, движущуюся вниз по реке и непрерывно изменяющую свою форму, размеры и скорость [2, 3]. Схематично продольный разрез такой сформировавшейся волны показан на рис. 1 (h – бытовой уровень воды в реке; H_B – высота волны; H – высота потока).

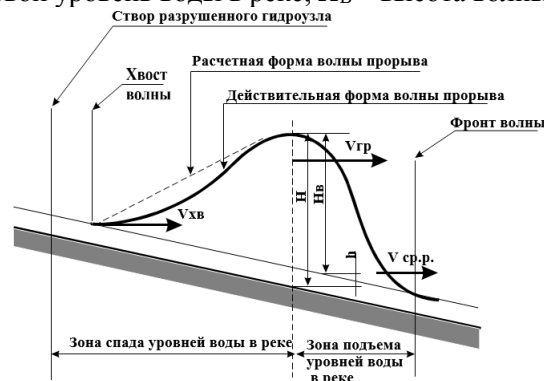


Рис. 1. Схематический продольный разрез волны прорыва [4]

Экспериментальная часть

Исходными данными для расчета параметров волны прорыва являются: объем водохранилища, уклон дна впадающего водотока, коэффициент шероховатости реки.

Расчет основных параметров волны прорыва производится по динамической оси потока.

1. Определение высоты волны прорыва:

$$H_{\text{В}} = 0,6H - h_6, \text{ м}, \quad (1)$$

где H – глубина водохранилища у плотины, м; h_6 – глубина реки типа плотины, м.

2. Определение времени прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины (время полного опорожнения водохранилища):

$$T_1 = \frac{W_{\text{В}} \cdot A}{3600 \cdot \mu \cdot e_1 \cdot H \cdot \sqrt{H}}, \text{ ч}, \quad (2)$$

где $W_{\text{В}}$ – объем водохранилища; A – коэффициент кривизны водохранилища, для ориентировочного расчета принимается равным 2; μ – параметр, характеризующий форму русла реки; B_i – ширина прорыва, м; H – глубина водохранилища перед гидроузлом.

3. Определение времени добегания волны прорыва до 1-го створа

$$t_1 = \frac{L_1}{V_1}, \text{ ч}, \quad (3)$$

где L_1 – длина 1-го участка реки; V_1 – скорость движения волны прорыва на 1-м участке.

4. Определение времени добегания волны прорыва до 2-го створа:

$$t_2 = \frac{L_2}{V_2} + t_1, \text{ ч}, \quad (4)$$

где L_2 – длина второго участка, км (т. е. от первого до второго створа); V_2 – скорость движения волны прорыва на 2-м участке, км/ч.

Для получения параметров волны прорыва в последующих створах поступают аналогичным способом с учетом примечания к табл. 2.

Рассмотрим последовательность оценки возможной обстановки в зоне катастрофического затопления при разрушении гидротехнического сооружения на следующем примере.

В результате аварии на водохранилище Локтыши полностью разрушен гидроузел.

Характеристика водохранилища и реки ниже плотины [4]:

- объем водохранилища $W_{\text{В}}$ – 50 млн.м³;
- ширина водохранилища перед плотинной B – 350 м;
- глубина водохранилища перед гидроузлом H – 7 м;
- глубина реки ниже плотины h_6 – 2,2 м;
- скорость течения V_6 = 1 м/с;
- форма (сечения) долины в створе гидроузла – параболическая;
- река равнинная с хорошо разработанным руслом, поймы узкие, местами средние, без больших сопротивлений;
- на участке $L = 0 - 25$ км, $i = 0,0012$, далее $L = 25 - 45$ км, $i = 0,001$.

Таблица 1. Коэффициенты шероховатости естественных водотоков

Характеристика русла и поймы	$i=0,01$	$i=0,001$	$i=0,0001$
На реках с широкими затопленными поймами	4–8	1–3	0,5–1
На извилистых реках с заросшими или неровными каменистыми поймами, с расширениями и сужениями поймы	8–14	3–8	1–2
На реках с хорошо разработанным руслом, с узкими и средними поймами без больших сопротивлений	14–20	8–12	2–5
На слабоизвилистых реках с крутыми берегами и узкими поймами	24–18	12–16	5–10

Требуется определить:

- параметры волны прорыва на 45 км участка реки;
- характер разрушений в населенном пункте.

Оценка возможных последствий затопления и подготовка исходных данных для планирования мероприятий ГО по защите населения. На основе исходных данных участок реки протяженностью 45 км целесообразно разбить на два расчетных участка и три створа. Первый участок $L_1 = 25$ км ($i = 0,0012$) и второй $L_2 = 20$ км ($i = 0,001$). Первый створ – створ разрушенной плотины, второй створ – между 1-ым и 2-ым участками и третий створ – в конце второго участка.

Определяем параметры волны прорыва в створе полного разрушения гидроузла (1 створ):

– находим высоту волны прорыва $H_{В1}$: $H_{В1} = 0,6 H - h_1 = 0,6 \cdot 7 - 2,2 = 2$ м;

– определяем время прохождения волны прорыва через створ разрушенной плотины (время полного опорожнения водохранилища). Для ориентировочного расчета коэффициента, характеризующего форму кривизны водохранилища, A принимаем равным 2. При параболической форме русла и поймы в 1 створе коэффициент $\mu = 0,6$:

$$T_1 = \frac{W_B \cdot A}{3600 \cdot \mu \cdot B \cdot H \cdot \sqrt{H}} = \frac{50000000 \cdot 2}{3600 \cdot 0,6 \cdot 350 \cdot 7 \cdot \sqrt{7}} = 7,14 \text{ ч.}$$

Находим основные данные движения волны прорыва на первом участке и параметры, характеризующие ее во втором створе определяем следующее.

1. Время добегания волны до второго створа (t_1).

Для реки с хорошо разработанным руслом, с узкими поймами без больших сопротивлений, при уклоне дна $i = 0,0012$ средняя скорость движения волны на первом участке равна $V_1 = 10$ км/ч (см. табл. 1): $t_1 = \frac{L_1}{V_1} = \frac{25}{10} = 2,5$ ч.

2. Высоту волны прорыва во втором створе ($H_{ВII}$).

Для этого в начале находим значение отношения времени добегания волны до второго створа t_1 ко времени полного опорожнения водохранилища T_1 : $\frac{t_1}{T_1} = \frac{2,5}{7,14} = 0,35$ ч.

Затем, по табл. 2, находим соответствующие этому отношению значения других отношений. При больших значениях t_1/T_1 ориентировочно можно принимать $H_{ВII}/H_{В1} = 0,3$, а $T_{II}/T_1 = 2,6$ –3. Данные таблицы справедливы только для второго створа, при определении параметров волны в третьем створе t_1/T_1 заменяется отношением $t_2/T_{II} + t_1$, а в четвертом $t_3/T_{III} + t_1 + t_2$ и т.д.

Таблица 2. Значения отношений высоты волны прорыва и продолжительность ее прохождения через створ

t_1/T_1	$H_{ВII}/H_{В1}$	T_{II}/T_1
0,00	1	1
0,1	0,9	1,1
0,25	0,8	1,3
0,4	0,7	1,5
0,55	0,6	1,6
0,7	0,5	1,7
0,95	0,4	1,9
1,25	0,3	2,2
1,5	0,3	2,6

Используя метод интерполяции, находим значения $H_{ВII}/H_{В1}$ и T_{II}/T_1 , соответствующие отношению $H_{ВII}/H_{В1} = 0,77$, откуда $H_{ВII} = 0,77 \cdot H_{В1} = 0,77 \cdot 2 = 1,54$ м. Время прохождения волны прорыва через второй створ. По таблице $T_{II}/T_1 = 1,43$, откуда $T_{II} = 1,43 \cdot T_1 = 1,43 \cdot 7,14 = 10,21$ ч.

Находим параметры волны прорыва при ее движении по второму расчетному участку и в третьем створе.

Определяем время добегания волны прорыва до третьего створа.

Протяженность расчетного участка 20 км (уклон дна реки $i = 0,001$).

На реках со средними поймами без больших сопротивлений по таблице среднюю скорость движения волны принимаем 8 км/ч. При этих данных время добегания волны прорыва до третьего створа $t_2 = \frac{L_2}{V_2} = \frac{20}{8} = 2,5$.

Для определения высоты волны прорыва в третьем створе находим значение отношения $\frac{t_2}{T_{II} + t_1} = \frac{2,5}{10,21 + 2,5} = 0,197$, $H_{ВIII} / H_{ВII} = 0,86$, $H_{ВIII} = 0,86 \cdot H_{ВII} = 0,86 \cdot 1,54 = 1,32$ м.

Продолжительность прохождения волны прорыва через третий створ находим из отношения: $T_{III}/T_{II} = 1,23$; $T_{III} = 1,23 \cdot T_{II} = 1,23 \cdot 10,21 = 12,56$ ч. Таким образом, находим следующее.

1. Параметры волны прорыва в створе разрушенного гидроузла:

– высота волны прорыва $H_{BI} = 2$ м;

– время полного опорожнения водохранилища $T_I = 7,14$ ч.

2. Данные движения волны прорыва на первом участке (L_I) и параметры ее во втором створе:

– время добегания волны до второго створа $t_1 = 2,5$ ч;

– высота волны прорыва $H_{BII} = 1,54$ м;

– время прохождения волны через второй створ $T_{II} = 10,21$.

3. Данные движения волны прорыва на втором участке (L_2) и параметры ее в третьем створе:

– время добегания волны прорыва до третьего створа $t_2 = 2,5$ ч;

– высота волны прорыва $H_{BIII} = 1,32$ м;

– время прохождения волны через третий створ $T_{III} = 12,56$ ч.

Зона чрезвычайно опасного затопления находится в 2500 м от гидроузла (из расчета движения волны в течение 15 мин).

Зона опасного затопления находится в 10 км от гидроузла (из расчета движения волны в течение 1 ч после разрушения гидроузла).

Длительности затопления определяется временем прихода хвоста волны. Расчет основных параметров волны прорыва представляет собой систему сложных инженерных расчетов, требующих больших временных затрат, поэтому для решения данной проблемы нами была разработана схема-алгоритм программного модуля, включающая следующие основные функции.

1. Создание новой или выбор сохраненной конфигурации водохранилища.

2. Изменение параметров водохранилища и условий аварии.

3. Выбор графического представления русла реки для определения коэффициентов, используемых при расчетах.

4. Вычисление значения основных параметров гидродинамической аварии.

5. Представление в графическом виде расчетных значений.

6. Формирование отчета, содержащего общие характеристики водохранилища и расчетные параметры аварии.

С целью автоматизации расчетов параметров волны прорыва, была произведена разработка программного модуля, предназначенного для выполнения следующих функций:

– расчет высоты волны прорыва;

– расчет времени полного опорожнения водохранилища;

– расчет времени добегания волны до второго створа;

– расчет высоты волны прорыва;

– расчет времени прохождения волны через второй створ;

– расчет времени добегания волны прорыва до третьего створа;

– расчет высоты волны прорыва;

– расчет времени прохождения волны через третий створ;

– создание отчета, содержащего характеристики гидроузла и рассчитанные данные.

Описание схемы алгоритма работы программного модуля

Для решения поставленной задачи, алгоритм разрабатываемого программного модуля должен быть следующим.

1. Выбор ранее сохраненной конфигурации водохранилища или создание новой.
2. Изменение параметров водохранилища и условий аварии.
3. Выбор графического представления русла реки, для определения коэффициентов, используемых при расчетах.
4. Вычисление значения основных параметров гидродинамической аварии.
5. Вывод рассчитанных значений на экран.
6. Формирование отчета, содержащего общие характеристики водохранилища и рассчитанные параметрами аварии.

Была произведена разработка программного модуля по автоматизации прогнозирования и оценки в чрезвычайной ситуации в случае прорыва водного узла. Вид основных рабочих окон программы представлен на рис. 2–4 [5]. Рекомендуется заранее провести работу по внесению и сохранению параметров всех гидроузлов, которые могут подвергнуться разрушению.

The screenshot shows the 'Расчет параметров волны прорыва' (Calculation of parameters of the wave of the breach) window. The 'Исходные данные' (Initial data) tab is active. It contains a list of parameters with input fields:

- ☒ Известен объем водохранилища (Known reservoir volume)
- Объем водохранилища, м3 (Reservoir volume, m³): 50000000
- Глубина водохранилища у плотины, м (Reservoir depth at the dam, m): не требуется (not required)
- Площадь зеркала водохранилища, м2 (Reservoir surface area, m²): не требуется (not required)
- Ширина водохранилища перед плотинной, м (Reservoir width before the dam, m): 350
- Глубина водохранилища перед плотинной, м (Reservoir depth before the dam, m): 7
- Глубина реки ниже плотины, м (River depth below the dam, m): 2,2
- Скорость течения реки, м/с (River flow velocity, m/s): 1
- Расстояние до створов на реке, км (Distance to the river cross-sections, km): L1 = 25, L2 = 45

Buttons: 'Продолжить' (Continue) and 'Выход' (Exit).

Рис. 2. Окно ввода и редактирования исходных данных

The screenshot shows the 'Расчет параметров волны прорыва' window with the 'Характеристики реки' (River characteristics) tab active. It displays six diagrams of river cross-sections with different shapes and parameters:

- M=1: Rectangular cross-section.
- M=1,25: Slightly trapezoidal cross-section.
- M=1,25: Trapezoidal cross-section.
- M=1,75: Trapezoidal cross-section.
- M=2: Trapezoidal cross-section.
- M=2,5: Trapezoidal cross-section.

Each diagram is labeled with points A, B, C, D, N. Below the diagrams is a text field: 'Параметр, характеризующий форму поперечного сечения реки' (Parameter characterizing the shape of the river cross-section) with the value 1,25. Buttons: 'Продолжить' (Continue) and 'Выход' (Exit).

Рис. 3. Окно выбора формы русла реки

Рис. 4. Окно вывода рассчитанных данных

Заключение

Аварии на гидросооружениях напорного типа характеризуются масштабными воздействиями ниспадающих огромных водных масс на больших территориях, сопровождаемые: гибелью людей; разрушением жилых строений, промышленных объектов и элементов инфраструктуры; уничтожением и деградацией сельскохозяйственных угодий, ландшафта и пр. Наибольшей опасности возникновения и развития аварийной ситуации подвержены гидросооружения напорного типа на грунтовых основаниях в зоне переувлажнения и экстремальных погодных условий, сопровождаемых обильными осадками и паводками. Поражающими факторами аварии на гидросооружениях напорного типа являются: волна прорыва и затопление территории. Риск аварий на гидротехнических сооружениях – есть вероятностный ущерб, реализуемый в зоне поражающего действия волны прорыва и затопления, возникающих в результате разрушения плотины под воздействием неблагоприятных факторов.

На основании представленного алгоритма был разработан программный модуль, который позволяет выполнять следующие функции:

- рассчитывает изначальную высоту волны прорыва, а также высоту волны после второго и третьего створа;
- рассчитывает время полного опорожнения водохранилища, а так же время добегания и прохождения волны прорыва до второго и третьего створа;
- создает отчет, содержащий характеристики гидроузла и рассчитанные данные.

Разработанный программный модуль позволяет точно и в кратчайшие сроки рассчитывать параметры гидродинамической аварии при прорыве гидроузла. Имеется возможность сохранять параметры гидроузла, что позволит сократить время на ввод параметров водохранилища. Программный модуль позволит заблаговременно произвести расчеты параметров аварии при различных условиях, что позволит заранее спланировать мероприятия по ликвидации чрезвычайной ситуации и тем самым сократить ущерб от аварии и избежать человеческих жертв.

Внедрение данного модуля в практику работы служб МЧС позволит более оперативно реагировать в случае наводнения, предотвратит либо существенно уменьшит возможные материальные и социальные потери.

SOFTWARE TOOL FOR ASSESSING THE ECOLOGICAL THREAT ON THE WATERWORKS

A.A. ZINOVIEV

Abstract

The necessity of automation calculating the parameters of an emergency in an accident on hydrological structures is examined. A mathematical model for predicting hydrological parameters emergency fracture waterworks is given. A software module for automated forecasting and assessment of the situation in an emergency situation and the possible consequences of flooding in case of a breakthrough water node is developed.

Список литературы

1. *Биненко В.И., Храмов Г.Н., Яковлев В.В.* Чрезвычайные ситуации в современном мире и проблемы безопасности жизнедеятельности. Санкт-Петербург. 2004.
2. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений. М., 1988.
3. *Климович В.И., Прокофьев В.А.* // Гидротехническое строительство. 2001. № 1. С. 38–44.
4. *Калинин М.Ю., Счисленок В.Н., Рутковский П.П и др.* Водохранилища Беларуси. Минск, 2005.
5. *Зиновьев А.А.* Программное обеспечение расчета параметров волны прорыва. Авторское свидетельство № 548 о регистрации компьютерной программы. 14.10.2013 г.