

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-3-276-284>

УДК 627.8.034

## Теоретические основы расчета размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень

В. В. Ивашечкин<sup>1)</sup>, П. М. Богославчик<sup>1)</sup>, В. В. Верменюк<sup>1)</sup>,  
О. В. Немеровец<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Белорусский национальный технический университет (Минск, Республика Беларусь)

© Белорусский национальный технический университет, 2022  
Belarusian National Technical University, 2022

**Реферат.** Масштабное гидротехническое сооружение, связанное с возведением и эксплуатацией больших плотин и водохранилищ, оказывает влияние на экосистему и физико-географические характеристики района строительства. Помимо этого, в период прохождения катастрофических паводков и половодий возрастает опасность гидродинамической аварии, т. е. переполнения водохранилищ, перелива через гребень земляной плотины и ее разрушения, сопровождаемого образованием прорана и истечением через него в нижний бьеф неустановившегося потока воды в виде волны прорыва. Процесс размыва грунтовой плотины вследствие перелива воды через гребень можно разделить на две стадии. На первой размывается низовой откос, по которому вода движется как по быстротоку. Профиль плотины, вначале трапециевидный, к концу размыва принимает форму, близкую к треугольной, причем отметка гребня со стороны верхового откоса остается постоянной. Вторая стадия характеризуется интенсивным снижением гребня, плотина быстро приобретает форму водослива практического профиля, которая сохраняется до конца размыва. В это же время происходит интенсивное расширение прорана. Как показал анализ, существующие математические модели, используемые для расчета динамики размыва плотины, особенно ее первой стадии до расширения прорана, несовершенны. В статье представлена разработанная авторами уточненная методика моделирования процесса размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень. Производимые по ней расчеты позволяют построить гидрограф расхода в створе размываемой плотины. Методика может применяться при разработке проектной документации на первой стадии проектирования плотин, а также при определении прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима водохранилищ.

**Ключевые слова:** расход, паводок, водохранилище, плотина, размыв, проран, перелив, затопление, гидродинамическая авария, волна прорыва, гребень плотины, моделирование

**Для цитирования:** Теоретические основы расчета размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень / В. В. Ивашечкин [и др.] // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2022. Т. 65, № 3. С. 276–284. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-3-276-284>

---

### Адрес для переписки

Ивашечкин Владимир Васильевич  
Белорусский национальный технический университет  
просп. Независимости, 67/2,  
220065, г. Минск, Республика Беларусь  
Тел.: +375 17 292-30-13  
fes@bntu.by

### Address for correspondence

Ivashechkin Vladimir V.  
Belarusian National Technical University  
67/2, Nezavisimosty Ave.,  
220065, Minsk, Republic of Belarus  
Tel.: +375 17 292-30-13  
fes@bntu.by

---

## Theoretical Foundations for Calculating the Erosion of Soil Dams during Overflow of Water over the Ridge

V. V. Ivashechkin<sup>1</sup>, P. M. Bohaslauchyk<sup>1</sup>, V. V. Veremenyuk<sup>1</sup>, O. V. Nemeravets<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Belarusian National Technical University (Minsk, Republic of Belarus)

**Abstract.** Large-scale hydraulic engineering construction associated with the erection and operation of large dams and reservoirs has an impact on the ecosystem and physical and geographical characteristics of the construction area. In addition, during the passage of catastrophic floods and high waters, the danger of a hydrodynamic accident increases, i. e. overflow of reservoirs, overflow of masses over the ridge of an earthen dam and its destruction, accompanied by the formation of a closure channel and the outflow of an unsteady water flow through it into the lower reaches in the form of a breakthrough wave. The process of erosion of an underground dam due to the overflow of water over the ridge can be divided into two stages. During the first one, the lower slope is eroded, along which the water moves as if by a rapid current. The profile of the dam, initially trapezoidal, by the end of the erosion takes a shape close to triangular, and the ridge mark on the side of the upper slope remains constant. The second stage is characterized by an intensive reduction of the ridge; the dam quickly takes the form of a practical profile spillway, which persists until the end of erosion. At the same time, there is an intensive expansion of the closure channel. As the analysis showed, the existing mathematical models used to calculate the dynamics of the erosion of the dam, especially its first stage before the expansion of the closure channel, are not perfect. The article presents a refined methodology developed by the authors for modeling the process of erosion of ground dams during water overflow over the ridge. The calculations made in accordance with this methodology make it possible to construct a flow hydrograph in the location of the eroded dam. The methodology can be used in the development of project documentation at the first stage of dam design, as well as in determining the forecast quantitative and qualitative characteristics of the water regime of reservoirs.

**Keywords:** discharge, flood, reservoir, dam, erosion, closure channel, overflow, flooding, hydrodynamic accident, breakthrough wave, dam ridge, simulation

**For citation:** Ivashechkin V. V., Bohaslauchyk P. M., Veremenyuk V. V., Nemeravets O. V. (2022) Theoretical Foundations for Calculating the Erosion of Soil Dams during Overflow of Water over the Ridge. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 65 (3), 276–284. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2022-65-3-276-284> (in Russian)

### Введение

Для накопления и хранения воды в целях ее использования в народном хозяйстве постоянно проектируются и создаются новые водохранилища. В Республике Беларусь создано 153 водохранилища с общей площадью зеркала 822 км<sup>2</sup>, полезным объемом 1,2 км<sup>3</sup>. Сравнительно недавно введены в действие три крупные ГЭС: Гродненская на р. Неман, Витебская и Полоцкая на р. Западная Двина. Подпорные сооружения водохранилищ удерживают огромные массы воды. В экстремальных ситуациях при прохождении по реке катастрофических паводков и половодий возникает риск переполнения водохранилищ, перелива этих масс через гребень земляной плотины и затопления значительных территорий [1–3]. При нормальных условиях эксплуатации возникают проблемы, связанные с разрушением берегов и откосов [4]. Разрушение плотины сопровождается образованием прорана и истечением через него в нижний бьеф неустановившегося потока воды в виде волны прорыва. Волна прорыва и катастрофическое затоп-

ление местности являются основными разрушающими факторами гидродинамических аварий.

Анализ используемых математических моделей для расчета динамики размыва плотины (особенно ее первой стадии до расширения прорана) показал, что они несовершенны и базируются на приближенных зависимостях [5–7]. Цель настоящей статьи – разработка уточненной методики моделирования процесса размыва грунтовых плотин при переливе воды через гребень.

### Моделирование процессов разрушения грунтовой плотины

Процесс размыва однородных плотин моделируется в соответствии с методикой, разработанной и описанной в [8]. В нем выделяют две стадии. На первой (рис. 1а) размывается низовой откос, по которому вода движется как по быстротоку. Профиль плотины, вначале трапецеидальный, к концу размыва низовой призмы  $ABCD$  принимает форму, близкую к треугольной, причем отметка гребня со стороны верхового откоса остается постоянной. Вторая стадия (рис. 1б) характеризуется интенсивным снижением гребня, плотина быстро приобретает форму водослива практического профиля, которая сохраняется до конца размыва. В это же время происходит интенсивное расширение прорана.

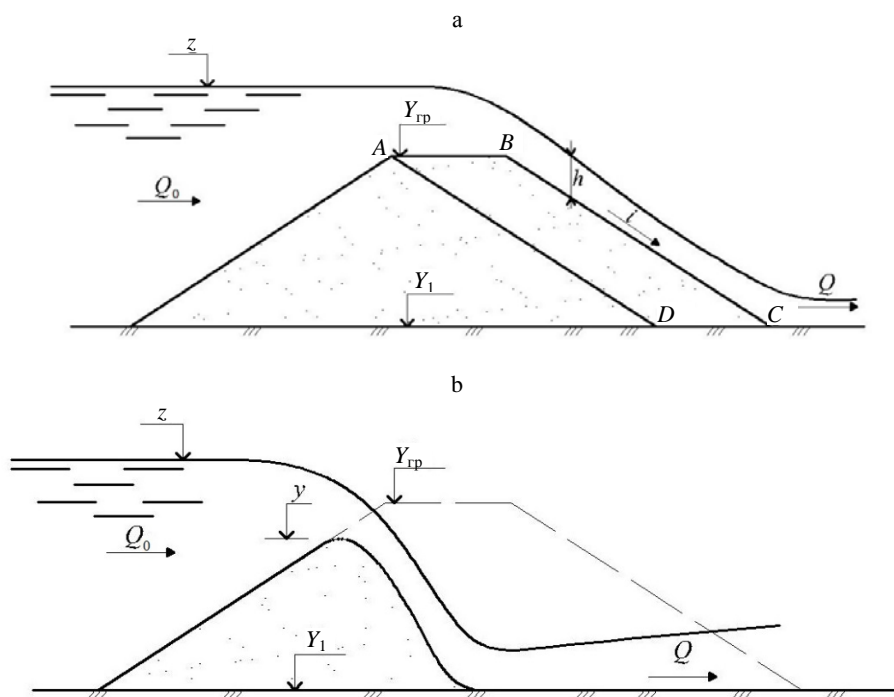


Рис. 1. Схема размыва грунтовой плотины при переливе: а – первая стадия; б – вторая стадия

Fig. 1. Scheme of erosion of a soil dam during overflow: a – first stage; b – second stage

Процесс разрушения грунтовой плотины и возникновения прорана можно описать системой четырех дифференциальных уравнений.

1. Уравнение для описания первой стадии размыва [8]:

$$\frac{dM}{dt} = 0,055 \frac{i^{1,275} (\sigma_n m_1)^{1,45} (2g)^{0,725}}{n_1^{2,55}} B (z - Y_{гр})^{2,175}, \quad (1)$$

где  $M$  – масса грунта низовой призмы, кг;  $t$  – время, с;  $i$  – уклон дна на быстротоке,  $i = \sin \alpha_1$ ;  $\alpha_1$  – угол наклона низового откоса к горизонту;  $\sigma_n$  – коэффициент подтопления ( $\sigma_n = 1$ , если подтопления нет,  $\sigma_n < 1$  в противном случае);  $m_1$  – коэффициент расхода водослива;  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,80665 \text{ м/с}^2$ ;  $n_1$  – коэффициент шероховатости поверхности низового откоса,  $n_1 = 0,0324d^{1/8}$  при  $h/r$  от 1000;  $h$  – глубина потока, м;  $r$  – радиус частиц размываемого грунта, м (формула Гончарова) [9];  $B$  – ширина прорана, предполагаемая постоянной в течение первого этапа размыва плотины, м;  $z$  – отметка уровня верхнего бьефа, м;  $Y_{гр}$  – отметка гребня плотины, м.

В случае мелкозернистых грунтов ( $d < 1,0$  мм) можно сделать допущение [8], что низовой откос, размываясь, остается параллельным самому себе. Учитывая это, преобразуем (1), чтобы получить выражение для ширины части гребня плотины  $b(t)$ , оставшейся не размытой к моменту времени  $t$ . Для этого представим левую часть выражения (1) в виде

$$\frac{dM}{dt} = \frac{\rho Y_{гр} B d (b_{гр} - b)}{dt}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность грунта плотины, кг/м<sup>3</sup>;  $b_{гр}$  – начальная ширина гребня плотины, м.

Тогда из (1) и (2) получим

$$\frac{db}{dt} = -0,055 \frac{i^{1,275} (\sigma_n m_1)^{1,45} (2g)^{0,725}}{n_1^{2,55} \rho Y_{гр}} (z - Y_{гр})^{2,175}. \quad (3)$$

2. Уравнение для изменения ширины прорана в зависимости от времени. В работе К. Р. Пономарчука [10] по итогам гидравлического моделирования построены графики изменения во времени ширины прорана  $B = B(t)$ , на основании которых выведена эмпирическая формула

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{\sqrt{g} h_t^{4,5}}{W_{уд}^2}, \quad (4)$$

где  $h_t$  – разность уровней воды между верхним бьефом и дном прорана (действующий напор на проране), м;  $W_{уд}$  – площадь поперечного сечения плотины между ее гребнем и дном прорана, м<sup>2</sup>.

Замечаем, что  $h_t = z - y$ , где  $y$  – отметка гребня водослива в пределах прорана (дна прорана), м; площадь сечения  $W_{уд} = [b_{гр} + \bar{m}'(Y_{гр} - y)](Y_{гр} - y)$ , где  $\bar{m}'$  – среднее заложение откосов плотины;  $\bar{m}' = \frac{m'_1 h_1 + m'_2 h_2}{h_1 + h_2}$ , где  $m'_1, h_1, m'_2, h_2$  – заложения и высоты соответственно верхового и низового откосов. Тогда (4) запишем в виде

$$\frac{dB}{dt} = 0,035 \frac{\sqrt{g}(z-y)^{4,5}}{[b_{гр} + \bar{m}'(Y_{гр} - y)]^2 (Y_{гр} - y)^2}. \quad (5)$$

3. Уравнение для отметки  $y(t)$  гребня водослива в пределах прорана (уточнено авторами) [8]:

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{B\varepsilon}{\rho g} (\sigma_{п} m_2)^{0,407} (z-y)^{0,61}, \quad (6)$$

где  $\varepsilon = 2g \frac{1 - 1,26\sqrt[3]{m_2^2}}{\beta}$ ;  $m_2$  – коэффициент расхода водослива (как правило, отличается от  $m_1$ );  $\beta$  – постоянная, зависящая от гранулометрического состава размываемого грунта; параметр  $B$  находят по формуле

$$B = 2,224(1 + \varphi)d \left( \frac{5,64n_2\sqrt{2g}}{\varphi w} \right)^{3,33} g^{2,165} \alpha^{-1,962},$$

где  $\varphi$  – параметр турбулентности;  $n_2$  – коэффициент шероховатости поверхности прорана;  $w$  – гидравлическая крупность частиц размываемого грунта, м/с;  $\alpha$  – коэффициент Кориолиса.

4. Уравнение для отметки  $z(t)$  верхнего бьефа водохранилища в общем случае имеет вид

$$\frac{dz}{dt} = \frac{Q_0 - Q - Q_c - Q_E}{F(z)}, \quad (7)$$

где  $Q_0$  – расход воды, поступающей в верхний бьеф (приточность), м<sup>3</sup>/с;  $Q$  – то же через проран;  $Q_c$  – то же в створах водосбросных сооружений;  $Q_E$  – то же, используемый для энергетики;  $F(z)$  – площадь водной поверхности водохранилища при отметке  $z$  верхнего бьефа, которую определяют методом наименьших квадратов по опытным данным для каждого конкретного водохранилища [11, с. 65; 12, с. 150], м<sup>2</sup>.

Расход воды через проран находим как через водослив

$$Q = mB\sqrt{2g}(z-y)^{1,5}. \quad (8)$$

Значения параметров, входящих в дифференциальные уравнения (3), (5)–(7), определяют для каждого изучаемого объекта отдельно. Рассмотрим

алгоритм использования указанных уравнений для моделирования процесса разрушения грунтовой плотины и возникновения прорана. Весь процесс условно разбивают на три этапа.

Первый этап – процесс размыва гребня плотины с его начальной шириной  $b_{гр}$ . Для его моделирования используем уравнения (3), (7), (8) с начальными условиями  $z(0) = Y_{гр}$ ,  $b(0) = b_{гр}$  и коэффициентом расхода  $m = m_1$ . На всем этапе принимается  $y(t) \equiv Y_{гр}$  и  $B(t) \equiv B_0$  (для дальнейших вычислений начальная ширина прорана  $B_0$  оказывается несущественной при определении его конечной ширины, поэтому имеет смысл брать ее значение, равное ширине предполагаемого русла в нижнем бьефе). Вычисления производятся на промежутке времени  $(0; T_1)$ , где  $T_1$  определяется из условия  $b(T_1) = 0,01b_{гр}$ . Для времени  $t < T_1$  уравнения (5), (6) не используются.

Второй этап – процесс интенсивного расширения прорана и размыва его гребня до дна плотины. Здесь используются уравнения (5)–(7). Для (6) начальное условие  $y(T_1) = Y_{гр}$ . Коэффициент расхода в (8)  $m = m_2$ . Уравнение (5) начинают использовать при  $t > T_1 + \delta$ , где  $\delta$  – заданная малая величина, иначе знаменатель обращается в 0. Вычисления производятся на промежутке времени  $(T_1; T_2)$ , где  $T_2$  определяется из условия  $y(T_2) = 0,01Y_{гр}$ . Для времени  $t > T_1$  уравнение (3) не используется.

Третий этап – процесс расширения прорана и слив большей части объема водохранилища. Здесь используются уравнения (6), (7). Вычисления производятся на промежутке времени  $(T_2; T_3)$ , где  $T_3$  определяется из условия  $z(T_3) < z_{крит}$ ;  $z_{крит}$  – заданная величина.

*Пример расчета.* Математическое моделирование разрушения плотины и образования волны прорыва осуществлено по описанной методике на примере Клястицкого водохранилища на р. Нища (Россонский район Витебской области). Плотина насыпная однородная из мелких песков, общая длина 164 м (рис. 2). По гребню проходит эксплуатационная дорога с гравийным покрытием шириной 4,5 м и обочинами по 0,75 м. Заложение верхового откоса плотины 1:3,5; низового: от гребня плотины до бермы – 1:2,5; от бермы до дна 1:3,0.

Данные для плотины: отметка гребня  $Y_{гр} = 5,5$  м относительно гребня водосброса; ширина гребня  $b_{гр} = 6$  м; диаметр частиц грунта тела плотины  $d = 0,5$  мм; среднее заложение откосов  $\bar{m}' = 2,75$ ; плотность грунта тела плотины  $\rho = 1600$  кг/м<sup>3</sup>; гидравлическая крупность  $w = 0,05$  м/с; постоянная, зависящая от гранулометрического состава размываемого грунта,  $\beta = 2$ ; коэффициенты расхода для первого этапа  $m_1 = 0,35$ , для второго и третьего этапов  $m_2 = 0,5$ ; приточность  $Q_0 = 174$  м<sup>3</sup>/с; параметр турбулентности  $\varphi = 1$ ; коэффициент подтопления  $\sigma_{п} = 0,6$ ; коэффициент Кориолиса  $\alpha = 1,4$ ; начальная ширина прорана  $B = 10$  м. Для простоты предполагаем, что расход в створах водосбросных сооружений  $Q_c = 0$ , расход, используемый для энергетики,  $Q_E = 0$ , что не является существенным ограничением.

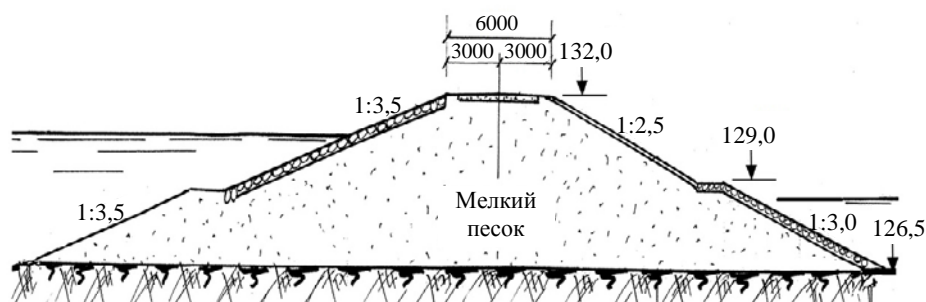


Рис. 2. Поперечный профиль однородной грунтовой плотины на реке Нища

Fig. 2. Cross-section of a homogeneous earth dam on the Nishcha river

Вычисленные данные – коэффициенты шероховатости поверхности: низового откоса (по формуле Гончарова)  $n_1 = 0,0125$ ; прорана  $n_2 = n_1$ .

Площадь водной поверхности Клястицкого водохранилища в зависимости от отметки уровня верхнего бьефа задана в виде таблицы. После обработки табличных данных методом наименьших квадратов получена эмпирическая формула  $F = F(z)$ :

$$F = 1,21 + 0,0007e^z - 1,5(0,74)^{e^z}.$$

Результаты моделирования процесса разрушения плотины (с момента окончания первого этапа), полученные с помощью компьютерной программы, представлены в виде кривых изменения во времени: ширины прорана  $B = B(t)$ , уровня верхнего бьефа  $z = z(t)$ , удельного расхода воды, проходящей через проран,  $Q = Q(t)$  в створе плотины (рис. 3).

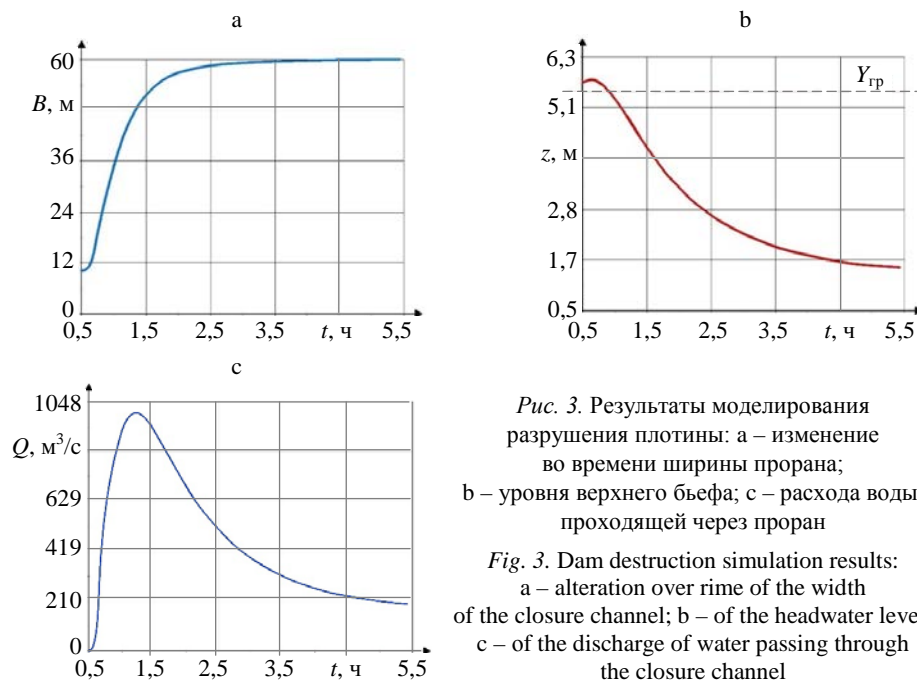


Рис. 3. Результаты моделирования разрушения плотины: а – изменение во времени ширины прорана; б – уровня верхнего бьефа; с – расхода воды, проходящей через проран

Fig. 3. Dam destruction simulation results: а – alteration over time of the width of the closure channel; б – of the headwater level; с – of the discharge of water passing through the closure channel

Из анализа полученных графиков следует, что процесс размыва низового откоса (первый этап разрушения плотины) занимает приблизительно 30 мин (точнее 0,541 ч), при этом отметка гребня остается постоянной. На протяжении примерно 75 мин происходит интенсивное нарастание расхода параллельно с увеличением ширины прорана, сопровождающееся понижением уровня верхнего бьефа и снижением отметки гребня плотины (второй этап разрушения).

## ВЫВОДЫ

1. Методика моделирования разрушения грунтовой плотины разработана на основе решения численным методом системы четырех уравнений, описывающих трехэтапный размыв грунтовой плотины, баланс воды в водохранилище, образование и развитие прорана, что позволило получить гидрограф расхода в створе размываемой плотины. Разработана компьютерная программа. Приведен пример расчета.

2. Решение задачи моделирования разрушения грунтовой плотины позволяет определить граничные и начальные условия в ее створе для скорости и глубины потока в нижнем бьефе, используемых для определения границ затопления территории, расположенной ниже створа гидроузла.

3. Методика может применяться при: разработке проектной документации на первой стадии проектирования плотин и водохранилищ, определении прогнозных количественных и качественных характеристик водного режима при создании водохранилищ, оценке ущерба от разрушения плотины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Веремениук, В. В. Моделирование неустановившегося движения в нижнем бьефе гидроузла при разрушении грунтовой плотины / В. В. Веремениук, В. В. Ивашечкин, О. В. Немец // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 6. С. 554–567. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-6-554-567>.
2. Малик, Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений / Л. К. Малик. Проблемы безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
3. Обеспечение безопасности и надежности низконапорных гидротехнических сооружений / В. Н. Щедрин [и др.]. Новочеркасск: РосНИИПМ, 2016. 283 с.
4. Левкевич, В. Е. (2018) Закономерности развития береговых процессов на водохранилищах гидроэлектростанций Беларуси / В. Е. Левкевич // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2018. Т. 61, № 5. 463–478. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-5-463-478>.
5. Карпенчук, И. В. Определение параметров волны прорыва и оценка возможных последствий затопления / И. В. Карпенчук, М. Ю. Стриганова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2008. № 2. С. 41–45.
6. Временная методика оценки ущерба, возможного вследствие аварии гидротехнического сооружения: РД 153-34.2-002-01. М.: Минэнерго России, 2001. 59 с.
7. Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоводных гидротехнических сооружений [Электронный ресурс]: приказ МЧС и Минтранса РФ от 2 октября 2007 г. № 528/143. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902075525>. Дата доступа: 26.11.2021.
8. Богославчик, П. М. Расчетная модель размыва грунтовых плотин при переливе / П. М. Богославчик // Наука и техника. 2018. Т. 17, № 4. С. 292–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296>.
9. Гончаров, В. Л. Динамика русловых потоков / В. Л. Гончаров. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 373 с.



10. Пономарчук, К. Р. Оценка параметров развития прорана при разрушении грунтовой плотины / К. Р. Пономарчук // *Природообустройство*. 2011. № 3. С. 77–82.
11. Оценка опасности Тетеринского водохранилища на реке Друть Круглянского района Могилевской области / В. В. Ивашечкин [и др.] // *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2017. Т. 1, № 1. С. 62–70.
12. Веремениук, В. В. Моделирование процесса изменения уровней в каскаде из двух русловых водохранилищ при пропуске половодья / В. В. Веремениук, В. В. Ивашечкин, О. В. Немеровец // *Наука и техника*. 2019. Т. 18, № 2. С. 146–154. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-146-154>.

Поступила 07.04.2021    Подписана в печать 15.06.2021    Опубликована онлайн 31.05.2022

#### REFERENCES

1. Veremenyuk V. V., Ivashechkin V. V., Nemeravets O. V. (2021) Simulation of Unsteady Movement in the Downstream of a Hydroelectric Complex During the Destruction of a Soil Dam. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 64 (6), 554–567. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-6-554-567> (in Russian).
2. Malik L. K. (2005) *Risk Factors for Hydraulic Structures. Safety Issues*. Moscow, Nauka Publ. 354 (in Russian).
3. Shchedrin V. N., Kosichenko Y. M., Baklanov D. V., Baev O. A., Mihailov E. D. (2016) *Ensuring the Safety and Reliability of Low-Pressure Hydraulic Structures*. Novocherkassk, Russian Research Institute of Land Reclamation Problems. 283 (in Russian).
4. Levkevich V. E. (2018) Regularities of the Development of Coastal Processes on Water Reservoirs of Hydroelectric Power Plants of Belarus. *Energetika. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii i Energeticheskikh Ob'edinenii SNG = Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*, 61 (5), 463–478. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-5-463-478> (in Russian).
5. Karpenchuk I. V., Striganova M. Yu. (2008) Determining the Parameters of the Breakout Wave and Assessment of the Possible Consequences of Flooding. *Vestnik Komandno-Inzhenernogo Instituta MChS Respubliki Belarus' [Vestnik of the Institute for Command Engineers of the MES of the Republic of Belarus]*, (2), 41–45 (in Russian).
6. RD [Guidance Document] 153-34.2-002–01. *Temporary Methodology for Assessing the Damage Possible as a Result of a Breakdown of a Hydraulic Structure*. Moscow, Ministry of Energy of the Russian Federation, 2001. 59 (in Russian).
7. *Methodology for Determining the Amount of Damage that Can be Caused to the Life, Health of Individuals, Property of Individuals and Legal Entities as a Result of an Accident of Navigable Hydraulic Technical Structures*. Order of Ministry of Emergency Situations and Ministry of Transport of the Russian Federation, October 2, 2007, № 528/143. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/902075525> (Accessed 26 November 2021) (in Russian).
8. Bohaslauchyk P. M. (2018) Calculation Model of Soil Dam Wash-Away Due to Overflow. *Nauka i Technika = Science & Technique*, 17 (4), 292–296. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2018-17-4-292-296> (in Russian).
9. Goncharov V. L. (1962) *Channel Flow Dynamics*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ. 373 (in Russian).
10. Ponomarchuk K. R. (2011) Evaluation of Parameters for Closure Channel Development while Breaking Soil Dam. *Prirodobuystvo [Environmental Management]*, (3), 77–82 (in Russian).
11. Ivashechkin V. V., Veremenyuk V. V., Kruhlou G. G., Linkevich N. N., Murashko O. A., Nedashkovskaya I. V. (2017) The Risk Assessment of the Teterinskoye Reservoir on the Drut River in the Krugloye District in the Mogilev Region. *Vestnik Universiteta Grazhdanskoj Zashchity MChS Belarusi = Journal of Civil Protection*, 1 (1), 62–70 (in Russian).
12. Veremenyuk V. V., Ivashechkin V. V., Nemerovets O. V. (2019) Modeling of Process for Level Changes in Cascade of Two Channel Water Reservoirs in Case of Flooding. *Nauka i Technika = Science and Technique*, 18 (2), 146–154. <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-2-146-154> (in Russian).

Received: 7 April 2021

Accepted: 15 June 2021

Published online: 31 May 2022