

УДК 627.8

Осадчий С. Д., первый заместитель генерального директора (ПАТ «УКРГИДРОПРОЕКТ», г. Харьков)

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПЕРЕЛИВА ВОДЫ ЧЕРЕЗ ГРЕБЕНЬ ИЛИ ЧЕРЕЗ ВЕРХ ЯДРА КАМЕННО-ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

В работе рассмотрен алгоритм расчета перелива воды через гребень плотины или через верх каменно-земляной плотины.

Ключевые слова: алгоритм расчета, гребень плотины, ядро плотины, каменно-земляная плотина.

Перелив воды через гребень каменно-земляной плотины и/или через гребень ее ядра представляет собой значительную опасность и является одной из основных причин аварийных ситуаций, которые могут иметь место на таких сооружениях. В процессе перелива воды происходит размыв тела плотины и ее разрушение, что приводит к прорыву напорного фронта гидроузла с последующим развитием гидродинамической аварии, которая может иметь катастрофические последствия. Поэтому недопущение перелива воды через гребень сооружения и через верх ядра является одной из важнейших задач обеспечения надежности и безопасности проектируемых каменно-земляных плотин.

Наиболее объективная оценка надежности и безопасности каменно-земляных плотин по условию недопущения перелива воды через гребень сооружения и/или через верх ядра может быть получена вероятностными методами в рамках системной теории надежности сложных технических систем. В результате решения такой задачи может быть найдено значение вероятности перелива воды через гребень плотины и/или через верх ядра, что является числовой характеристикой надежности и безопасности каменно-земляной плотины.

В настоящей работе при решении такой задачи принято ограничение рассмотрением причин перелива, обусловленных только двумя природными факторами: повышением уровня воды в водохранилище при пропуске паводка с максимальным расходом воды, превышающим расчетный и воздействие ветровых волн и ветрового нагона при скорости ветра, превышающей расчетную.

Основными этапами решения задачи являются следующие.

1. Составление уравнений связи между входными (отметка гребня плотины, отметка верха ядра, отметка уровня воды в водохранилище,

высота наката волны на откос, высота ветрового нагона воды) и выходными параметрами (результаты расчета).

2. Подготовка исходных данных для расчета в соответствии с принятыми уравнениями связи и разделение входных параметров на случайные и неслучайные (детерминированные).

3. Определение вероятностных характеристик входных параметров (отметка уровня воды в водохранилище, высота наката волны на откос, высота ветрового нагона воды).

4. Определение вероятности перелива воды через гребень сооружения и/или через верх ядра плотины на основе решения соответствующей задачи статистической динамики.

Согласно действующим нормам проектирования надежность и безопасность каменно-земляной плотины по условию недопущения перелива воды через гребень считается обеспеченной, если отметка гребня плотины определена в соответствии со следующими положениями:

1. Рассматриваются два статических уровня воды в водохранилище: НПУ и ФПУ.

2. Для каждого из этих уровней определяется возвышение гребня плотины над таким уровнем h_s

$$h_s = \Delta h_{set} + h_{run1\%} + a,$$

где Δh_{set} – ветровой нагон воды в водохранилище; $h_{run1\%}$ – высота наката ветровых волн обеспеченностью 1% в системе волн; a – запас возвышения гребня плотины.

Значение ветрового нагона воды Δh_{set} и высота наката волн на откос $h_{run1\%}$ определяется в соответствии с нормами проектирования для скоростей ветра, обеспеченность которых также регламентируется этими нормами.

3. Из двух полученных значений возвышения гребня принимается более высокая отметка гребня.

Надежность и безопасность каменно-земляной плотины по условию недопущения перелива воды через гребень ядра считается обеспеченной, если гребень ядра выше ФПУ с учетом ветрового нагона, но без учета наката волны.

Важнейшим этапом вероятностных расчетов является составление уравнений связи. Для рассматриваемой задачи система уравнений связи имеет вид:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_{st} + \Delta h_{set} + h_{run1\%} \leq Z_{ГII}, \\ Z_2 &= Z_{st} + \Delta h_{set} \leq Z_{ГЯ}. \end{aligned}$$

Все величины, находящиеся слева от знака неравенства являются случайными величинами, а справа – неслучайными величинами, где:

Z_1 – динамический уровень воды перед плотиной, определяемый с учетом нагона воды Δh_{set} и наката волны на откос $h_{run1\%}$;

Z_2 – статический уровень воды перед плотиной, определяемый с учетом нагона воды Δh_{set} ;

Z_{st} – статический уровень воды в водохранилище (в верхнем бьефе);

$Z_{ГП}$ – отметка гребня плотины;

$Z_{ГЯ}$ – отметка гребня ядра.

Для выполнения расчетов вероятности перелива воды через гребень каменно-земляной плотины и/или через гребень ядра необходимы следующие исходные данные:

1. Распределение $p_{st} = p_{st}(Z_{st})$ случайной величины – статического уровня воды в водохранилище Z_{st} .

2. Распределение $p_V = p_V(V)$ случайной величины – скорости ветра V .

3. Зависимость длины разгона волны L от статического уровня воды в водохранилище Z_{st} , т.е. $L = L(Z_{st})$.

4. Зависимость средней глубины воды в водохранилище H от статического уровня воды в нем Z_{st} , т.е. $H = H(Z_{st})$.

5. Конструктивные данные о плотине (отметка гребня плотины $Z_{ГП}$, отметка гребня ядра $Z_{ГЯ}$, коэффициент заложения верхового откоса плотины m_{ot} , данные о шероховатости и проницаемости крепления верхового откоса).

Все эти данные обычно определяются при проектировании плотины.

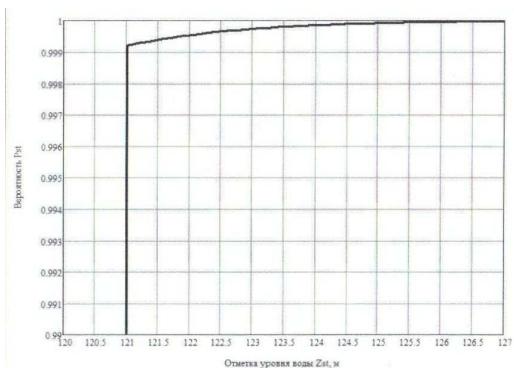


Рис. 1

На рисунку 1 для примера приведена функция распределения случайной величины – статического уровня воды в водохранилище для Днестровской ГЭС-1.

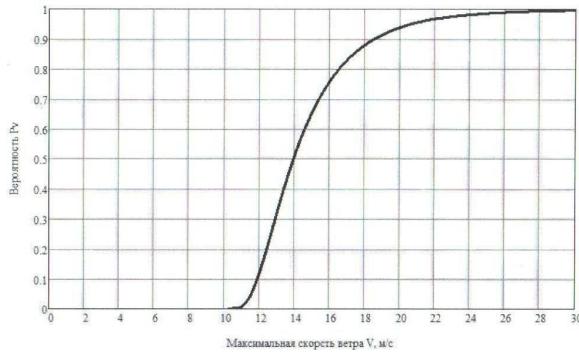


Рис. 2

На рисунке 2 приведена функция распределения случайной величины – скорости ветра.

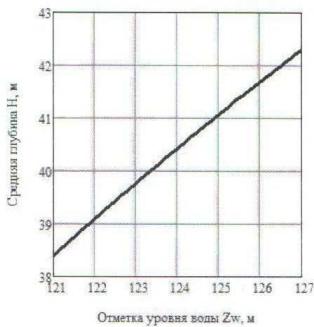


Рис. 3

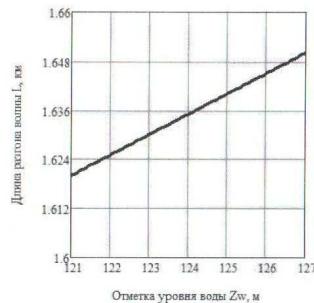


Рис. 4

На рисунках 3 и 4 показаны зависимости средней глубины воды в водохранилище и длины разгона волн от статического уровня воды в верхнем бьефе.

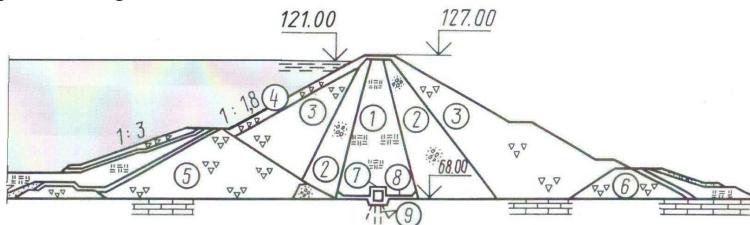


Рис. 5

Решение задачи по определению вероятности перелива воды через гребень каменно-земляной плотины (рис. 5) и/или через верх ядра эффективно может быть выполнено методом статистических испытаний (Монте-Карло). При этом целесообразно использовать следующий алгоритм.

Проводится n испытаний, для каждого из которых выполняются следующие расчеты.

1. Задаются равномерно распределенной в интервале от 0 до 1 случайной вероятностью отметки уровня воды перед плотиной p_{st} , обусловленной максимальным паводковым расходом.

2. По значению p_{st} определяется отметка статического уровня воды перед плотиной Z_{st} , обусловленная максимальным паводковым расходом.

3. По известной отметке Z_{st} находятся значения длины разгона волны L и средней глубины воды в водохранилище H , пользуясь известными зависимостями $L = L(Z_{st})$, $H = H(Z_{st})$.

4. Задаются равномерно распределенной в интервале от 0 до 1 случайной вероятностью скорости ветра p_V .

5. По значению p_V определяется скорость ветра V .

6. Используя нормативную методику, по известным значениям длины разгона волны L , средней глубины воды в водохранилище H и скорости ветра V находится значения высоты наката волны на откос $h_{run1\%}$ и высоты ветрового нагона воды Δh_{set} .

7. Находятся отметки динамического уровня воды перед плотиной Z_1 , определяемого с учетом нагона воды и наката волны на откос, и статического уровня воды перед плотиной Z_2 , определяемого с учетом нагона воды

$$Z_1 = Z_{st} + \Delta h_{set} + h_{run1\%} \leq Z_{ГП}, \quad Z_2 = Z_{st} + \Delta h_{set} \leq Z_{ГЯ}.$$

8. Проверяется выполнение условий $Z_1 \geq Z_{ГП}$, $Z_2 \geq Z_{ГЯ}$.

9. Вычисляется вероятность перелива воды через гребень плотины и/или через гребень ядра P как отношение числа испытаний n_1 , при которых хотя бы одно из этих условий выполняется, к числу всех испытаний n .

Представленный алгоритм был реализован в разработанной в ПАО “Укргидропроект” компьютерной программе расчета вероятности перелива воды через гребень плотины и/или через гребень ядра каменно-набросной плотины.

Рецензент: д.т.н., профессор Рябенко О. А. (НУВГП)

**Osadchiy S. D., Deputy General Director (PJSC "Ukrhydroproekt",
Kharkiv)**

**ALGORITHMS FOR CALCULATING THE WATER OVERFLOW
THE CREST OR THROUGH THE TOP OF CORE
STONE-EARTHEN DAM**

In the paper we consider the algorithm for calculating the overflow of water through the dam or through the top of stone and earthen dam.
Keywords: algorithm, the top of the dam, the core of the dam, stone and earthen dam.

Осадчий С. Д., перший заступник генерального директора (ОАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ», м. Харків)

**АЛГОРИТМ РОЗРАХУНОК ПЕРЕЛИВУ ВОДИ ЧЕРЕЗ ГРЕБІНЬ
АБО ЧЕРЕЗ ВЕРХ ЯДРА КАМ'ЯНО-ЗЕМЛЯНОЇ ГРЕБЛІ**

У роботі розглянутий алгоритм розрахунку переливу води через гребень греблі або через верх кам'яно-земляної греблі.
Ключові слова: алгоритм розрахунку, гребінь греблі, ядро греблі, кам'яно-земляна гребля.
