

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 волн.

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

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

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.

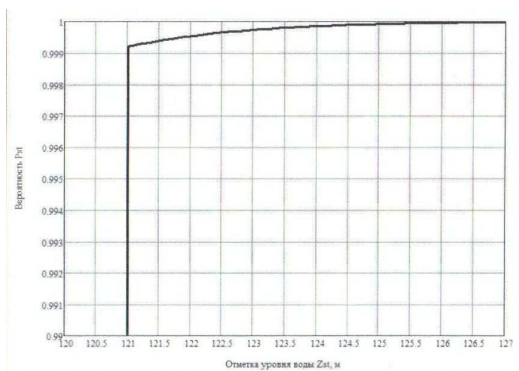


Рис. 1

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

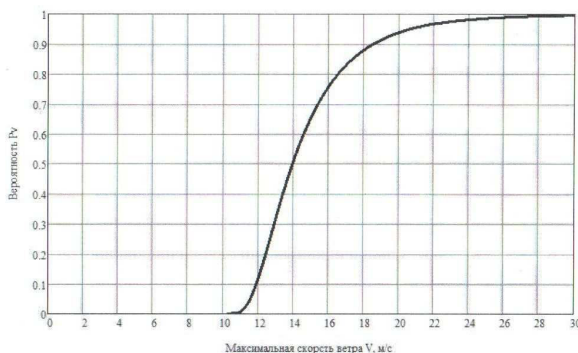


Рис. 2

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

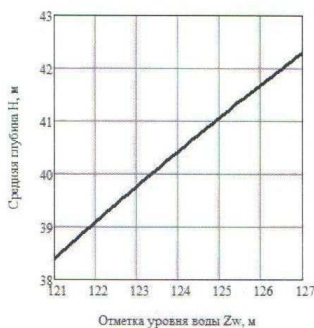


Рис. 3

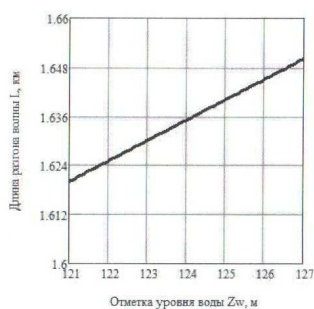


Рис. 4

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

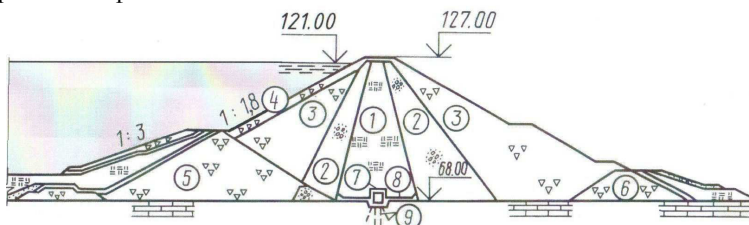


Рис. 5

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.
