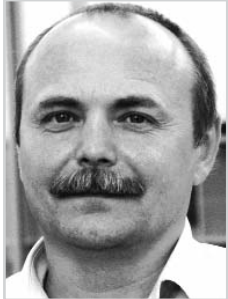


VI МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ ГІДРОЕНЕРГЕТИКІВ

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

(доповідь на VI Міжнародній конференції
"Світові тенденції та перспективи розвитку гідроенергетики України"
(14–15 березня 2013 р., Україна, м. Рівне))

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: нормальный подпорный уровень (НПУ) и форсированный подпорный уровень (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:

$$Z_1 = Z_{st} + \Delta h_{set} + h_{run1\%} \leq Z_{ГП}$$

$$Z_2 = Z_{st} + \Delta h_{set} \leq Z_{ГЯ}$$

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 $m_{от}$, данные о шероховатости и проницаемости

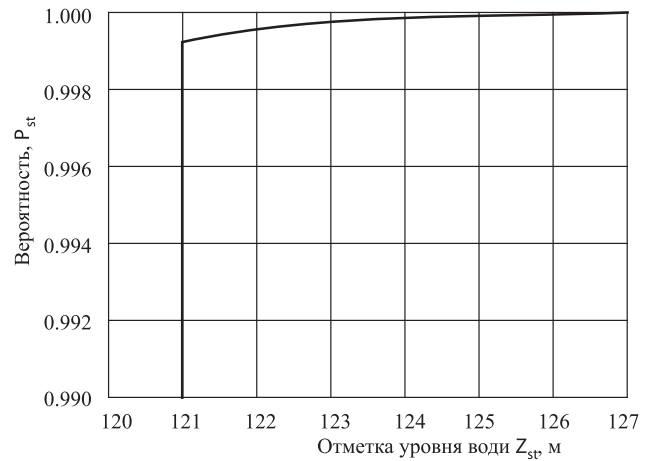


Рис. 1.

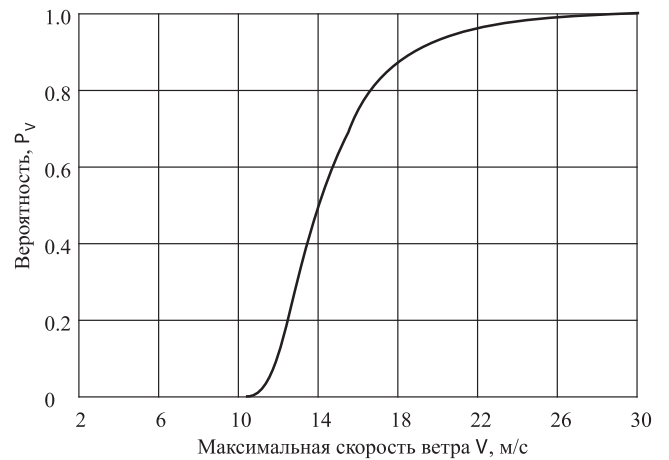


Рис. 2.

крепления верхового откоса).

Все эти данные обычно определяются при проектировании плотины.

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

На Рис. 2 приведена функция распределения случайной величины — скорости ветра.

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

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} , обуслов-

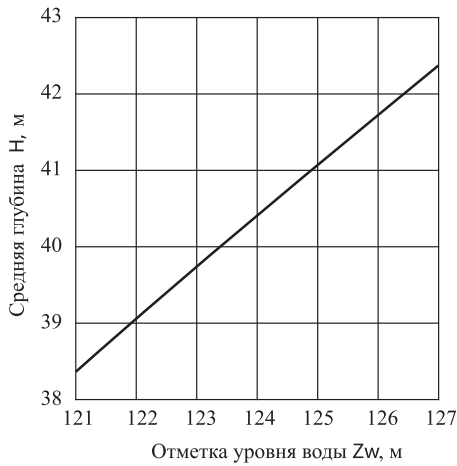


Рис. 3.

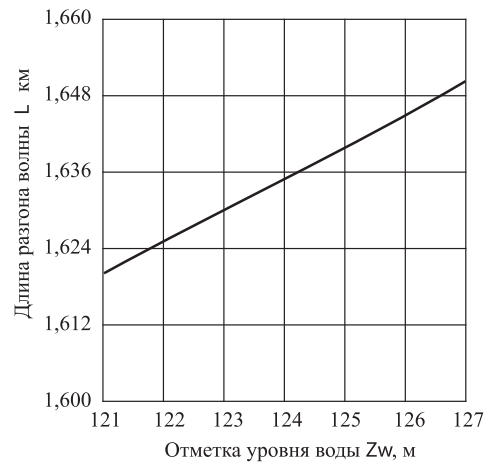


Рис. 4.

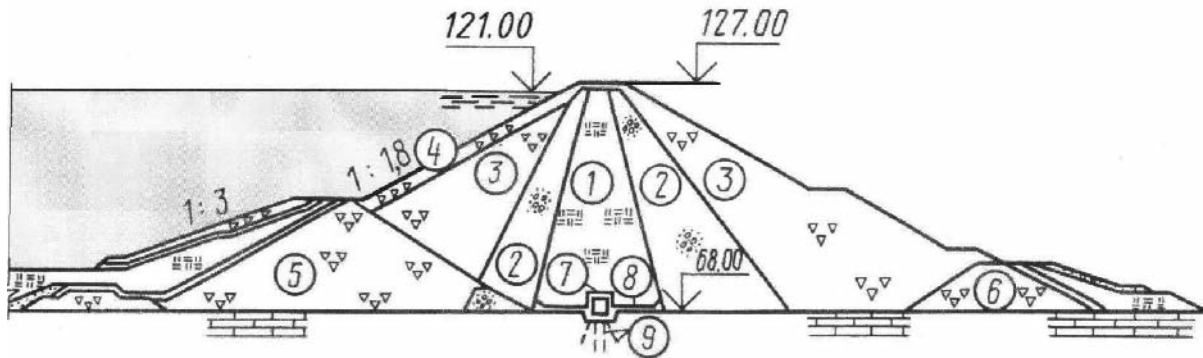


Рис. 5.

ленной 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} находят значения длины разгона волны L и средней глубины воды в водохранилище, 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 находятся 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

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

$$Z_2 = Z_{st} + \Delta h_{set} \leq Z_{ГЯ}.$$

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 "Укрэнергопроект" компьютерной программе расчета вероятности перелива воды через гребень плотины и/или через гребень ядра каменно-набросной плотины.

