

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБЧАТОГО ВОДОСБРОСА С ВОДОСЛИВНОЙ СТЕНКОЙ НА ВХОДЕ

На трубчатых водосбросных сооружениях, устраиваемых на мелиоративной сети для поддержания в водотоках и на прилегающей к ним территории требуемого уровня режима, можно применить тонкие водосливные стенки в тех случаях, когда нецелесообразно использовать затворы ввиду трудоемкости и недостаточной оперативности их обслуживания, а планируемый режим водотока допускает поддержание постоянного уровня воды в течение длительного времени.

Водосливная стенка оказывает влияние на работу трубчатого водосброса, а также на протекание потока в самой трубе. Ее размеры зависят от уровня воды, который надо поддерживать перед водосбросом в межень, и уровней форсировки в половодье и паводки.

При проектировании сооружения необходимо знать, каким образом размеры и форма поперечного сечения трубы и водосливной стенки воздействуют на его пропускную способность. Существующие методы расчета предусматривают раздельное рассмотрение трубы и водосливной стенки, не учитывая взаимного их влияния. Это не позволяет установить, при каких расходах и напорах определяющей является стенка, а при каких — труба водосброса.

В лаборатории гидротехнических сооружений Белорусского политехнического института проведены модельные гидравлические исследования трубчатых водосбросов с поперечным сечением различной формы [1], а также их совместной работы с тонкими водосливными стенками [2].

Для детального изучения факторов, оказывающих влияние на гидравлические параметры сооружения с полукруглым поперечным сечением, исследования были продолжены на моделях из дерева и оргстекла, изготовленных в масштабах 1:10, 1:15, и велись в лотке шириной $B = 100$ см, высотой $H = 60$ см.

Анализируя условия работы и функции подобных сооружений на мелиоративной сети, можно рекомендовать для практических целей применять тонкую треугольную в плане водосливную стенку, имеющую следующие размеры: длина $l_{\text{ст}} = (0,5-1,5) p$ и высота $h_{\text{ст}} = (0,5-1,1) a$, где p — периметр поперечного сечения трубы водосброса; a — высота трубы на выходе (рис. 1).

Модельные исследования сооружений велись с использованием методов математического планирования. Было поставлено три полных факторных эксперимента (ПФЭ), в результате чего получены приведенные ниже зависимости (1), (2), (3). Планирование велось на двух уровнях. Для получения каждой функции отклика количество факторов и интервалы их варьирования изменялись и принимались в соответствии с данными табл. 1.

При планировании использовалась традиционная матрица планирования ПФЭ (1), a, b, ab, c, ac, bc, abc [3]. Опыты были рандомизированы и повторены три раза. Результаты опытов приведены в табл. 2. Для описания функций отклика использовался полином вида

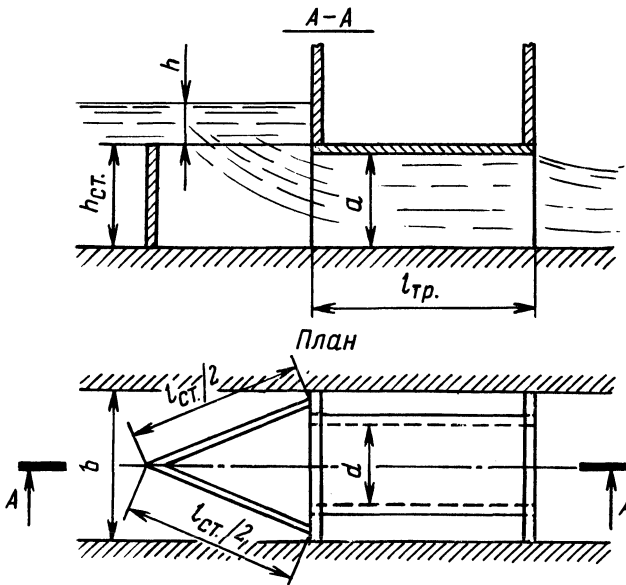


Рис. 1: Схема трубчатого водосброса с водосливной стенкой на входе.

Табл. 1. Условия варьирования параметров модели трубчатого водосброса со стенкой на входе

| Уровень | ПФЭ-1 | | ПФЭ-2 | | | ПФЭ-3 | | |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | $l_{ст}/P$ | $h_{ст}/a$ | $l_{ст}/b$ | $h_{ст}/a$ | $h/h_{ст}$ | $l_{ст}/P$ | $h_{ст}/a$ | $h/h_{ст}$ |
| Основной | 1,000 | 0,85 | 2,500 | 0,85 | 0,4 | 1,000 | 0,85 | 1,85 |
| Верхний | 1,500 | 1,10 | 3,750 | 1,10 | 0,6 | 1,500 | 1,1 | 2,5 |
| Нижний | 0,500 | 0,60 | 1,250 | 0,60 | 0,2 | 0,500 | 0,6 | 1,2 |

Табл. 2. Матрица планирования и результаты экспериментов

| Код опыта | ПФЭ-1 | | | | ПФЭ-2 | | | | ПФЭ-3 | | | |
|-----------|----------|----------|----------|-------------|-------|-------|-------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | $h_{э1}$ | $h_{э2}$ | $h_{э3}$ | $\bar{h}_э$ | m_1 | m_2 | m_3 | \bar{m} | $\xi_{ст1}$ | $\xi_{ст2}$ | $\xi_{ст3}$ | $\xi_{ст}$ |
| (1) | 6,20 | 5,99 | 5,94 | 6,04 | 0,293 | 0,258 | 0,237 | 0,263 | 7,865 | 8,244 | 7,975 | 8,028 |
| a | 2,51 | 2,56 | 2,30 | 2,51 | 0,271 | 0,235 | 0,224 | 0,243 | 0,416 | 0,386 | 0,409 | 0,404 |
| b | 11,19 | 11,53 | 12,15 | 11,62 | 0,296 | 0,260 | 0,260 | 0,272 | 16,42 | 17,01 | 16,73 | 16,72 |
| ab | 1,76 | 1,97 | 1,75 | 1,83 | 0,328 | 0,332 | 0,285 | 0,315 | 0,638 | 0,595 | 0,631 | 0,621 |
| c | — | — | — | — | 0,257 | 0,274 | 0,255 | 0,262 | 6,240 | 6,240 | 6,210 | 6,230 |
| ac | — | — | — | — | 0,233 | 0,200 | 0,197 | 0,210 | 0,405 | 0,431 | 0,313 | 0,383 |
| bc | — | — | — | — | 0,267 | 0,235 | 0,242 | 0,248 | 14,76 | 14,43 | 14,41 | 14,54 |
| abc | — | — | — | — | 0,211 | 0,190 | 0,199 | 0,200 | 0,559 | 0,560 | 0,555 | 0,558 |

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + b_{ijk} x_i x_j x_k.$$

Эксперимент ПФЭ-1 был поставлен для определения режима перехода водосброса со стенкой на входе к работе полным сечением. В качестве факторов, влияющих на этот процесс, были выбраны отношения l_{CT}/p и h_{CT}/a (см. табл. 1). В результате эксперимента выяснилось, что переход от безнапорного к напорному движению при установке стенки перед водосбросом происходит при напорах над водосливной стенкой, определяемых (после пересчета из кодированных значений факторов в натурные) по зависимости

$$h = h_3 = -2,64 + (3,98 - 12,52 \frac{h_{CT}}{a}) \frac{l_{CT}}{p} + 17,42 \frac{h_{CT}}{a}, \quad (1)$$

где h — напор над переливной стенкой; h_3 — напор над переливной стенкой, при котором происходит зарядка трубы. (Цифры в см.)

При $h < h_3$ трубчатый водосброс со стенкой на входе работает безнапорно, поэтому пропускная способность сооружения определяется пропускной способностью стенки, которая оценивалась при проведении эксперимента ПФЭ-2.

В этом случае расход через стенку необходимо рассчитывать по формуле водослива $Q = m l_{CT} \sqrt{2gh}^{3/2}$, где m — коэффициент расхода, являющийся искомым параметром.

После анализа данных лабораторных исследований в качестве факторов ПФЭ-2 были приняты отношения l_{CT}/b , h_{CT}/a и h/h_{CT} (см. табл. 1), определяющие пропускную способность водосливной стенки. Здесь b — ширина поддоного канала по дну.

В результате эксперимента получена зависимость для определения коэффициента расхода тонкой треугольной в плане водосливной стенки. Зависимость после пересчета параметров в натурные значения выглядит следующим образом:

$$m = 0,139 + 0,0169 \frac{l_{CT}}{b} + 0,133 \frac{h_{CT}}{a} + (0,269 - 0,0616 \frac{l_{CT}}{b} - 0,262 \frac{l_{CT}}{a}) \frac{h}{h_{CT}}. \quad (2)$$

При $h > h_3$ в трубе водосброса движение потока напорное. Поэтому при гидравлическом расчете водосброса стенку можно рассматривать как дополнительное местное сопротивление, уменьшающее коэффициент расхода сооружения. В качестве расчетной выберем формулу напорного движения [4] $Q = \mu_H \omega \sqrt{2g(H_0 + il - \eta a)}$, в которой коэффициент расхода выражается $\mu_H = 1/\Sigma \xi$, где $\Sigma \xi = \xi_{CT} + \xi_{ВХ} + \xi_{ДЛ} + \xi_{ВЫХ}$ — сумма коэффициентов сопротивления соответственно стенки, входа в трубу, длины трубы и выхода из трубы.

Коэффициенты $\xi_{ВХ}$, $\xi_{ДЛ}$ и $\xi_{ВЫХ}$ можно определить, пользуясь рекомендациями [2, 4].

Коэффициент ξ_{CT} сопротивления стенки определялся в третьей серии опытов (ПФЭ-3). В качестве факторов выбраны l_{CT}/p , h_{CT}/a и h/h_{CT} (см. табл. 1). В результате эксперимента была получена зависимость, которая после пересче-

та в натурные значения параметров функции отклика представляет собой полином

$$\xi_{\text{СТ}} = 0,24 + (0,02 - 16,64 \frac{h_{\text{СТ}}}{a} + 1,63 \frac{h}{h_{\text{СТ}}}) \frac{l_{\text{СТ}}}{p} + 25,32 \frac{h_{\text{СТ}}}{a} - 2,48 \frac{h}{h_{\text{СТ}}}. \quad (3)$$

Обработка результатов экспериментов велась с помощью методов математической статистики. Проверка на воспроизводимость осуществлялась по критерию Кохрена, на значимость — по критерию Стьюдента, на адекватность — по критерию Фишера при вероятности превышения 0,05 [3]. Все проверки выполняются, т.е. полученные уравнения адекватно описывают исследованные процессы.

Использование методов планирования эксперимента позволило исключить из рассмотрения параметры, не оказывающие существенного влияния на гидравлику сооружения, а также учесть взаимное влияние факторов друг на друга, что при использовании других методов исследования сделать затруднительно. Представленные выше зависимости (1), (2) и (3) показывают в явном виде влияние геометрических размеров сооружения и потока на гидравлические параметры, что важно при проектировании.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г а т и л л о С.П., Ф и л и п п о в и ч И.В. О целесообразности применения треугольной и полукруглой геометрических форм трубчатых водосбросов. — Докл. ВАСХНИЛ, 1981, № 1, с. 38–40.
2. Г а т и л л о С.П., Ф и л и п п о в и ч И.В. Применение тонких водосливных стенок на трубчатых водосбросных сооружениях. — Водное хозяйство и гидротехническое строительство. Минск, 1981, вып. 11, с. 105–109.
3. В о з н е с е н с к и й В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. — М., 1974. — 192 с.
4. Р о з а н о в Н.П. Гидравлические расчеты водопропускных труб. — М., 1979. — 72 с.

УДК 626/627

М.К.ПОВАЛЯЕВ (ЦНИИКИВР)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ СБОРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ НИЖНЕГО БЬЕФА

При расчете устойчивости жестких креплений нижнего бьефа гидротехнических сооружений на воздействие гидродинамической нагрузки требуется определять параметры ее пульсационной составляющей. Воздействие последней на массивные плиты водобоев и рисберм значительных плановых размеров относительно невелико и не превышает 5–10 % от воздействия осредненной составляющей [1], для сборных же креплений из элементов небольших плановых размеров и массы (малоинерционных) оно является основным возмущающим фактором; для определения его расчетных параметров необходим специальный анализ.