

результатов исследований по зависимостям (5) и (6) показала, что при введении стенки изменяются все коэффициенты — на вход, по длине и на выход (вычисленный как $\xi_{\text{вых}} = \sum \xi'_i - \xi_{\text{вх}} - \xi_{\text{дл}}$). При этом их изменения ($\Delta \xi_{\text{вх}}$, $\Delta \xi_{\text{дл}}$) зависят от геометрических размеров стенки (см. рис. 2, б),

Результаты исследования указывают на то, что в водопропускном тракте трубчатых водопропускных сооружений происходят значительные переформирования потерь напора при установке перед трубами водосливных стенок и при подтоплении труб. Полученные графические зависимости (рис. 2, 3) подтверждают сложный характер изменения ξ_i , обусловленный действием различных факторов, и требуют дальнейших исследований для получения количественных оценок.

Л и т е р а т у р а

1. Р о з а н о в Н.П. Гидравлические расчеты водопропускных труб. — М., 1979. — 72 с.
2. Ч у г а е в Р.Р. Гидравлика. — Л., 1975. — 600 с.
3. Г а т и л л о С.П. Гидравлические характеристики трубчатого водосброса с водосливной стенкой на входе // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Минск, 1984. — Вып. 13. — С. 80—83.
4. 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.
5. Г а т и л л о С.П., Ф и л и п п о в и ч И.В. Учет подтопления при расчете трубчатых водопропускных сооружений // Водное хозяйство и гидротехническое строительство. — Минск, 1986. — Вып. 15. — С. 62—68.

УДК 627.83

И.В. ФИЛИППОВИЧ, канд.техн.наук,
П.М. БОГОСЛАВЧИК, С.П. ГАТИЛЛО,
А.И. АЛТУНИН, канд.техн.наук (БПИ)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕКОНСТРУКЦИИ БЫСТРОТОКА

Для восстановления поврежденного водосброса вследствие фильтрационных деформаций потребовалось детальное исследование всех конструкций гидроузла, включающего: грунтовую плотину с трубчатым водоспуском; двухпролетную бетонную водосливную плотину безвакуумного профиля криволинейного очертания автоматического (без затворов) действия; водобойный колодец за водосливной плотинной; криволинейный в плане быстроток с уклоном $i = 0,084$ и водобойный колодец за быстротоком. Длина быстротока по оси 56 м. Отметка дна в начале его — 209,0 м, в конце, перед водобойным колодцем — 204,3 м. Ширина быстротока на входе 26,2 м, на выходе — 13 м.

Для предотвращения сбойности потока к вогнутому берегу быстроток во входной части был разделен четырьмя криволинейными струйными стенками.

На рис. 1 представлен план водосброса с указанием очагов повреждения и разрушения отдельных элементов. В днище быстротока в результате вымыва фильтрационным потоком подстилающего слоя грунта образовались большие провалы глубиной до 2,0 м и размером в плане до 3,5 м. Сильные повреждения получили также все четыре струйные стенки. Оказался разрушенным и вогнутый левобережный устой, который на закруглении разломился в вертикальной плоскости и дал осадку с наклоном в сторону лотка быстротока. Анализ характера разрушений и их размеров показал, что быстроток в таком состоянии оказался непригодным даже для временного пропуска паводков.

Водосливная плотина с водобойным колодцем глубиной 0,5 м перед входом в лоток быстротока, береговые устои плотины и ледозащитная стенка перед ней, а также водобойный колодец за быстротоком не были повреждены и оказались пригодными для дальнейшей эксплуатации. В результате потребовалось заменить конструкцию лотка быстротока от водобойного колодца за водосливной плотиной на отметке 208,5 до водобойного колодца за быстротоком на отметке 203,5 м. Все остальные сооружения, входящие в гидроузел, желательно было сохранить. С целью получения надежных рекомендаций по реконструкции водосброса были выполнены модельные гидравлические исследования. Для соблюдения автомодельности между натурой и моделью при моделировании по Фрудру число $Re_{\text{доп}} \geq 3000-5000$ (для свободных струй) [1]. Допускаемый масштаб модели

$$\lambda_{\text{доп}} = \left(\frac{Re_{\text{доп}} \nu}{q_n} \right)^{2/3}, \quad (1)$$

где ν — кинематический коэффициент вязкости, который при средней температуре воды $+15^\circ\text{C}$ равен $1,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [2]; $q_n = 94:13 = 7,24 \text{ м}^2/\text{с}$ — наибольший удельный расход на быстротоке при расчетном паводковом расходе $Q_n = 94 \text{ м}^3/\text{с}$ и ширине быстротока 13 м.

Из уравнения (1) допускаемый масштаб модели 1:61. На основании этого, с учетом возможностей лаборатории гидротехнических сооружений масштаб моделей 1: λ был принят равным 1:50. Модели выполнялись из пластилина в металлическом криволинейном в плане лотке заданных размеров. Исследовалось несколько рациональных вариантов конструкции сопрягающего сооружения с учетом местных условий.

Исходный вариант был изготовлен подобным существующему до разрушения, но со снятыми струйными стенками. Поскольку гидравлические исследования исходного варианта ранее не были выполнены, возникла необходимость проверки его на сбойность потока на закруглении без установленных струйных стенок. Исследования показали, что на водоскате наблюдается весьма неравномерное распределение глубины потока по ширине и длине его. Разница в глубинах потока по поперечным сечениям лотка быстротока достигала 1,5 м между глубиной у левой и правой стенок. Постановка на водоскате дополнительных гасителей кинетической энергии, растекателей, коротких стенок — отклонителей потока не давала желаемых результатов ни для одного из расходов (94, 62 и 25 $\text{м}^3/\text{с}$), которые были приняты в качестве расчетных. Потребовалось коренное изменение конструкции быстротока, соотносящееся с технологией, местными условиями и рациональным использованием неповрежденных конструкций водосброса.

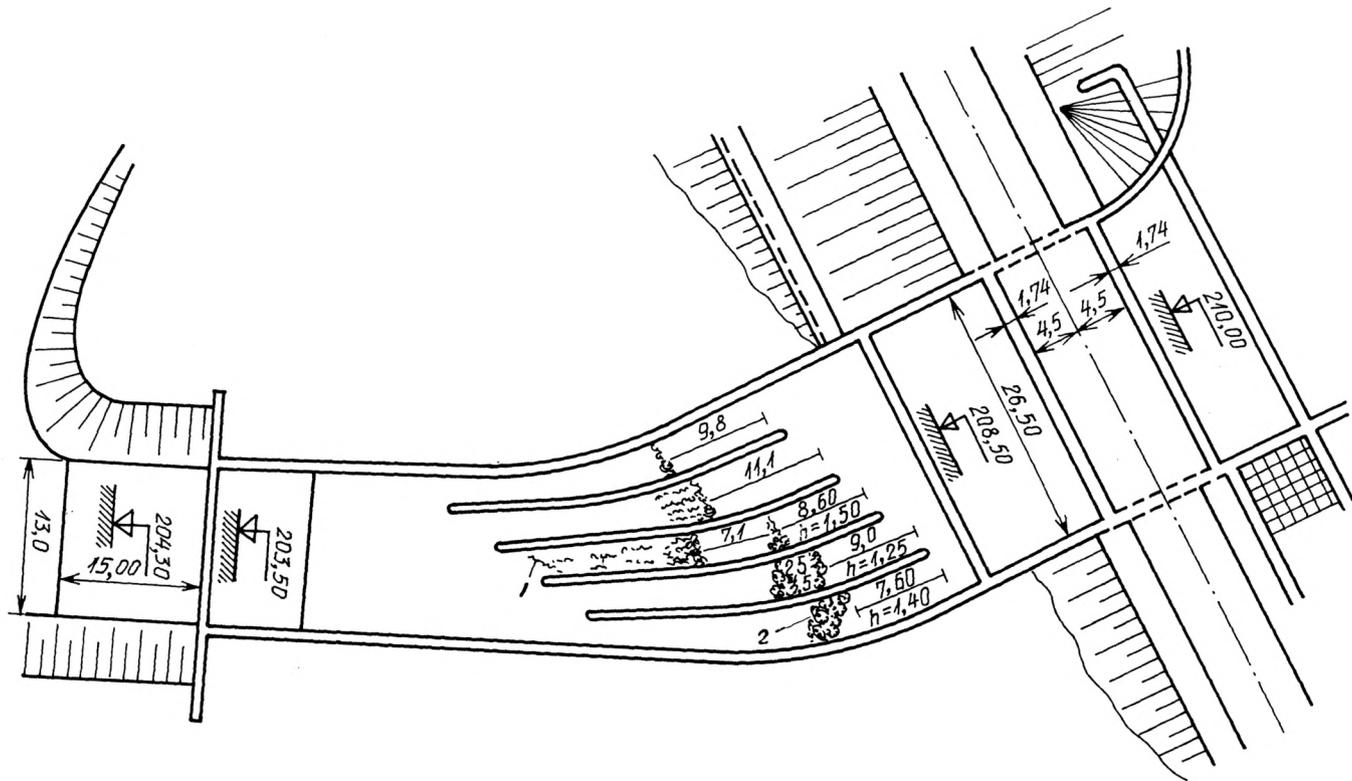


Рис. 1. Характер разрушения быстротока водосброса (м):

1 — трещины; 2 — провалы бетонных массивов; 8,60 — расстояние до деформаций; 1,25 — глубина деформаций

Последующие опыты по выявлению рациональной конструкции были поставлены на моделях криволинейного быстротока с устройством по левому устью виражей различной высоты, с изменением общего уклона лотка быстротока (как с устройством виража, так и с горизонтальными поперечными сечениями). Исследовались также варианты прямолинейного лотка с устройством виража и с такими же горизонтальными поперечными сечениями; с общим и переменным уклонами дна быстротока — нулевым во входной и увеличенным в нижней части лотка быстротока (как прямолинейного, так и криволинейного). К тому же для каждого из рассмотренных выше вариантов испытывались различные отклонители и растекатели потока по типу невысоких сплошных и гребенчатых порогов, которые бы способствовали равномерному по глубине распределению потока по лотку.

Основным недостатком исходного варианта являлось весьма неравномерное распределение глубин в лотке, а также в водобойном колодце за быстротоком. Поэтому в последующем варианте была сделана попытка устройства виража. Однако при уклоне $i = 0,1$ (уклон исходного варианта) она практически ничего не изменила.

Стремление к равномерному распределению глубин в лотке быстротока потребовало уменьшения уклона его дна от $i = 0,1$ до $i = 0,0225$. Такое решение значительно улучшило равномерность распределения глубин, доходящих в отдельных сечениях до 3,0 м.

В последующих вариантах для быстротока с уменьшенным уклоном подбирался вираж, способствовавший выравниванию глубин. Выполнилось это с помощью накладки на дно модели слоев пластилина либо снятия его. Равномерное распределение глубин в лотке быстротока было достигнуто во всех сечениях, кроме конечных. В окончательном варианте на консоли устанавливался растекатель, позволявший получить равномерное распределение глубин и в конце быстротока, а также в водобойном колодце нижнего бьефа.

На основании анализа результатов исследований и с учетом всех требований и условий была рекомендована следующая конструкция водосброса (рис. 2), который впоследствии был построен. Лоток быстротока устраивается криволинейным в плане (по исходному варианту) с виражом и общим уклоном $i = 0,0225$. Лоток оканчивается консольным перепадом на отметке 207,74 м. Конец консоли оформляется в плане сегментом, выпуклым в сторону верхнего бьефа со стрелкой 2,0 м и длиной хорды 10,2 м. Прямолинейные участки консоли симметрично повторяют береговые устои быстротока. Длина каждого из участков равна 1,4 м. По центру на консоли лотка устанавливается треугольный в плане растекатель с вершиной, обращенной к верхнему бьефу, и торцевой стенкой, совпадающей с концом лотка в его сегментной части. Длина растекателя по оси лотка 2,8 м, длина торцевой части — 1,8 м, высота растекателя — 1,8 м (см. рис. 2).

В принятом варианте достигается равномерное растекание потока по лотку, что весьма важно для обеспечения устойчивости и прочности сооружения, требующих равномерной нагруженности от давления воды. Этого не удалось получить практически ни в одном из других вариантов.

Устанавливаемый на конце лотка быстротока растекатель в форме четырехгранной пирамиды или клина способствует гашению кинетической энергии потока в колодце за консолью в период сброса расходов. Быстроток предпоч-

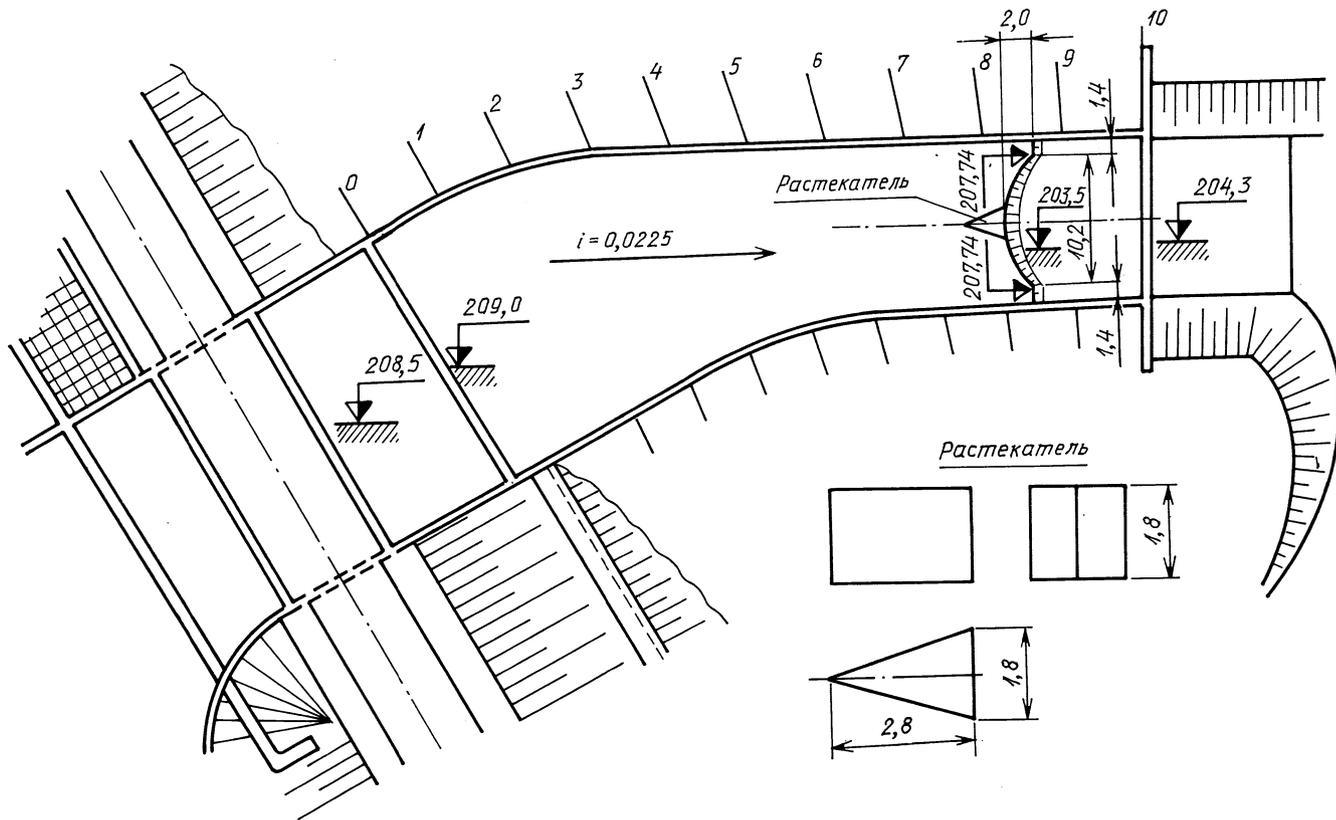


Рис. 2. Рекомендуемый вариант быстротока (м)

тителен и с точки зрения технологии строительства, так как устройство нового быстротока возможно без разборки пришедших в негодность конструкций поврежденного сооружения.

Лоток рекомендуемого быстротока было предложено устраивать на свайном ростверке. Сваи забивались через отверстия, сделанные в бетонном днище разрушенного быстротока. После этого его лоток засыпался грунтом. Трасса нового быстротока идентична трассе разрушенного. Для предотвращения вымыва фильтрационным потоком грунта из-под водосливной плотины и ее водобойного колодца за ними по всей ширине было рекомендовано устройство шпунтовой стенки.

Л и т е р а т у р а

1. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений. — Л., 1967, — 233 с. 2. Справочник по гидравлическим расчетам / Под ред. П.Г. Киселева. — М., 1972. — 352 с.

УДК 532.525.2

И.В. ПОВОРОТНЫЙ, Д.А. ПРОКОПЧУК,
Д.А. КОЗЛОВ, кандидаты техн. наук (БПИ)

ПРИСТЕННАЯ ТУРБУЛЕНТНАЯ СТРУЯ, ИСТЕКАЮЩАЯ ИЗ ОСЕСИММЕТРИЧНОГО ИСТОЧНИКА

Исследованию закономерностей развития струйных потоков, формируемых осесимметричными насадками, посвящен ряд работ, в которых основное внимание уделено рассмотрению свободной осесимметричной струи [1, 2]. Что касается пристенных струй, то наиболее изученными являются плоские полуограниченные струи [3]. Изучению же пристенных круглых струй посвящены лишь отдельные публикации [4, 5].

В связи с вышесказанным целью настоящей работы явилось исследование гидродинамики пристенных струйных потоков, формируемых осесимметричными источниками. Ставилась задача получения данных при удалениях от источника истечения свыше 100 калибров, поскольку это связано с практическим применением рассматриваемого течения — применением струйных потоков для защиты судов и гидротехнических сооружений от биологического обрастания.

Изучение турбулентных затопленных пристенных струй осуществлялось на специальном гидродинамическом стенде при помощи электрохимического метода измерения полей скорости. Конструкция стенда и сущность метода были описаны авторами в предыдущем выпуске сборника, где рассматривалось влияние параметров насадка на развитие струйных потоков. В качестве струеформирующего устройства использовались конически сходящиеся насадки с выходными диаметрами $d = 1; 2; 3,5$ и $4,5$ мм; углом конусности $\alpha = 14^\circ$ и отношением $l/d = 4$ (l — длина самого насадка), Установка обеспечивала

истечение струй в диапазоне чисел Рейнольдса $Re = \frac{U_0 d}{\nu} = (0,029-1,0) \cdot 10^5$