

О РАБОТЕ АВТОМАТИЧЕСКИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО
ВОДОСЛИВА ТРУБЧАТОГО СООРУЖЕНИЯ

В практике воднохозяйственного строительства широко применяются низконапорные трубчатые сооружения комбинированного действия. Они дают возможность пропускать воду автоматически путем перелива через затвор или верх оголовка, а опорожнение водоема и пропуск паводков осуществлять через донное отверстие. Наличие автоматически действующего водослива в сооружении позволяет производить сброс воды при повышении уровня в водоеме без маневрирования затворами, что важно при паводках, наступающих обычно неожиданно. Такие сооружения состоят из входного оголовка, оборудованного одиночными или сдвоенными затворами, отводящей трубы и выходного оголовка.

Перелив потока поверх затворов или шандор приближает работу автоматически действующего водослива трубчатого сооружения к схеме истечения через водослив с тонкой стенкой. Однако на режим истечения через автоматически действующий водослив влияют такие конструктивные особенности сооружения, как удаление низовой стенки оголовка от водослива, высота трубы, пазы плоских затворов, величина выступа боковых стенок оголовка перед водосливом и др. Работа водослива трубчатого сооружения в зависимости от отмеченных особенностей изучена недостаточно.

Для выявления влияния указанных элементов конструкции на работу автоматически действующего водослива трубчатого сооружения были проведены лабораторные исследования в условиях пространственной задачи ($b/B = 0,15$, где b – ширина водослива; B – ширина подводящего лотка) на модели односочкового трубчатого сооружения с прямоугольной отводящей трубой сечением 15×15 см. Ширина оголовка равнялась ширине трубы и автоматически действующего водослива, а расстояние от затворов до низовой стенки оголовка и величина выступа боковых стенок оголовка в сторону верхнего бьефа от водослива l были переменными. Вначале исследовались гидравлические режимы в сооружении при различных размерах оголовка, из которых выбирался наиболее благоприятный, и для него детально изучались условия пропуска расхода.

Установлено, что если при переливе через водослив струя не касается торцевой стенки оголовка, то схема работы сооружения приближается к водосливу с тонкой стенкой в условиях плоской задачи (рис. 1,а). При этом характер истечения во многом зависит от величины выступа боковых стенок оголовка в сторону верхнего бьефа l . Если эти выступы не превышают длины зоны бокового сжатия струи, возникающей у входа в оголовок, то происходит свободное истечение (как и через водослив с тонкой стенкой) с доступом воздуха в подструйное пространство через пазы и полости, образуемые за счет сжатия струи боковыми стенками оголовка.

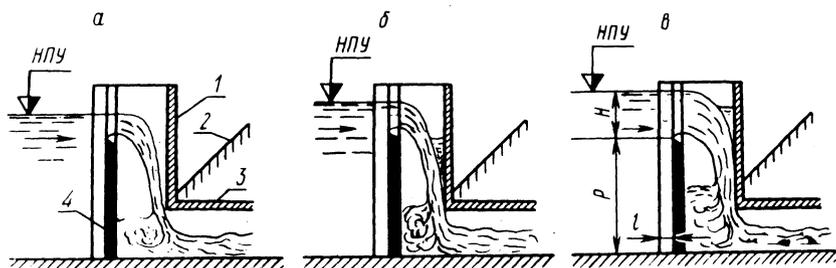


Рис. 1. Конструкция входного оголовка и режимы работы автоматически действующего водослива трубчатого сооружения: 1 - входной оголовок; 2 - дамба; 3 - труба; 4 - стенка автоматически действующего водослива.

Если выступы боковых стенок оголовка в сторону верхнего бьефа больше длины зоны бокового сжатия струи, то расширившаяся струя после планового сжатия потока при входе в оголовок касается поверхности боковых стенок до верхней грани водослива. При этом зона сжатия заполняется водой, доступ воздуха в подструйное пространство со стороны верхнего бьефа уменьшается. В данном случае наблюдается несвободное истечение, при котором воздух периодически прорывается в подструйное пространство и вызывает некоторое колебание струи.

Если при переливе через водослив струя касается нижней стенки оголовка и уровень воды в нем находится выше верха трубы и ниже отметки гребня водослива (рис. 1,б), то при малом выступе боковых стенок l струя поджата к затворам и над ней образуется водяной валец. В подструйном пространстве уровень воды выше, чем в нижнем бьефе и туда периодически прорывается воздух, который постепенно выносится в нижний бьеф с потоком. Это приводит к тому, что струя то прижимается к затвору, то резко отходит от него при прорыве-

ве воздуха, т.е. колеблется. При этом из водяного вальца, расположенного над струей в оголовке, поднимаются брызги, которые могут вылетать из оголовка. Такое явление раскачки струи может вызвать усиленную вибрацию оголовка сооружения. При значительном подтоплении струи со стороны нижнего бьефа истечение становится спокойным, однако воздух, выносимый струей, может скапливаться у потолка трубы и периодически вырываться в нижний бьеф, вызывая всплеск потока.

Если струя, переливающаяся через затвор, касается торцевой стенки и уровень воды в оголовке выше гребня водослива (при опускании верхнего затвора сдвоенных щитов или удалении шандор) и верха трубы, то над струей образуются интенсивные вальцы (рис. 1,в), подструйное пространство больше заполняется водой. Однако из-за периодического прорыва воздуха под струю с последующим постепенным выносом его с потоком происходит раскачка струи. При подтоплении со стороны нижнего бьефа во всех случаях в трубе не успевает образоваться устойчивый напорный вакуумный режим, так как через вальцы воздух интенсивно поступает в трубу. Если боковые стенки оголовка выходят в сторону верхнего бьефа на длину, большую зоны сжатия потока, схема истечения аналогична, хотя характер раскачки струи менее интенсивен.

Опыты показали, что перелив потока только через водослив с верховой стороны улучшает гидравлические режимы в оголовке и повышает пропускную способность сооружения по сравнению с переливом по всему контуру оголовка. В последнем случае быстро наступает истечение по типу затопленного отверстия и пропускная способность сооружения уменьшается. К тому же перелив по всему контуру оголовка способствует закручиванию потока у входа в сооружение, повышению скоростей потока вдоль верхового откоса плотины, а при срыве вакуума под струей возможны значительные колебания потока в оголовке, что подтверждается другими исследованиями [1].

Сравнение гидравлических режимов, возникающих в трубчатом сооружении при работе автоматического водослива, показывает, что наиболее благоприятным является режим работы сооружения, когда струя не касается торцевой стенки оголовка при свободном истечении без подтопления со стороны нижнего бьефа. Длина оголовка в этом случае определяется дальностью полета струи. В других случаях из-за срыва вакуума под струей возможна вибрация затвора и оголовка.

Для данного режима было исследовано влияние конструк-

тивных особенностей оголовка трубчатого сооружения на пропускную способность автоматического водослива.

Моделирование истечения через водослив с тонкой стенкой отличается значительными трудностями, так как необходимо обеспечить подобие модели и природы. Так, при небольшой толщине струи, переливающейся через водослив с тонкой стенкой, на модели существенными могут стать силы поверхностного натяжения, которыми в условиях развитого турбулентного режима можно пренебречь.

Известно, что масштаб модели влияет на гидравлические характеристики сооружений, в частности на величину коэффициента расхода, который изменяется с уменьшением масштаба модели. Поэтому для перерасчета величины коэффициента расхода приходится вводить экстраполяционные поправки, выражающиеся в функции сил вязкости (числа Рейнольдса Re). Однако, как отмечается рядом исследователей [2], коэффициенты расхода для моделей в масштабе 1:10 - 1:20 оказались совершенно одинаковыми, и только с уменьшением масштаба требуется вводить поправки.

Таким образом, для наших моделей, изготовленных в масштабе 1:10 - 1:20 можно определять величину коэффициента расхода автоматического водослива без введения поправок. При этом все же устанавливалась та минимальная величина напора над гребнем водослива H , ниже которой существенно влияние сил вязкости и значение коэффициента объемного расхода уменьшается, а выше наступает зона автомодельности.

Минимально допустимый напор H_{\min} определялся из условия $Re_{\text{доп}} = \frac{q}{\nu}$ (q - удельный объемный расход на гребне водослива; ν - кинематический коэффициент вязкости), когда при известных допустимых значениях $Re_{\text{доп}}$ и ν по экспериментальной зависимости $q = f(H)$ находилось соответствующее значение H_{\min} . Значение коэффициента объемного расхода m определялось по формуле

$$m = \frac{Q}{b\sqrt{2gH}^{3/2}},$$

где Q - объемный расход, пропускаемый через сооружение.

Нами исследовался водослив у входа в оголовки с выступами боковых стенок в сторону верхнего бьефа на 3, 4 и 5 см. Это позволило изучить режимы истечения с расположением

зоны бокового сжатия струи в пределах водослива и до входа на него. Дальнейшее увеличение длины выступов боковых стенок на модели не проводилось, так как существенного влияния на характер истечения это не оказывало и делало работу автоматического водослива аналогичной известной схеме водослива с тонкой стенкой в условиях плоской задачи. К тому же по условиям строительства необходимо стремиться, чтобы длина l была минимальной. Кромки выступов боковых стенок принимались прямоугольными и радиально закругленными. Исследования проводились в интервале $H/P = 0,25 - 0,75$ (где P – высота водослива) при отсутствии подтопления со стороны нижнего бьефа.

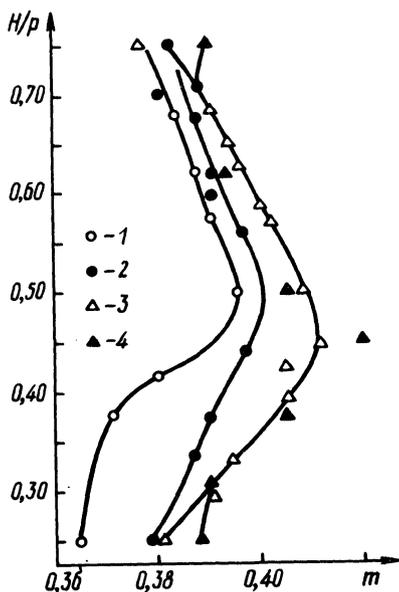


Рис. 2. Зависимость $m = f(H/P)$ для различной длины выступа боковых стенок оголовка в сторону верхнего бьефа l и очертаний входных кромок прямоугольного ($1 - l = 5$ см) и радиально закругленных ($2 - l = 3$ см); ($3 - l = 4$ см; $4 - l = 5$ см).

Как видно из рис. 2, минимальные значения коэффициента объемного расхода m соответствуют конструкции с выступом боковых стенок на 5 см при прямоугольных входных кромках. Значения m при выступах боковых стенок на 4 и 5 см с закругленными кромками получаются примерно одинаковыми и несколько больше других. Уменьшение коэффициента расхода для стенок с прямоугольными кромками и выступом на 5 см объясняется большей степенью сжатия потока на входе, а для выступа 3 см зона бокового сжатия потока попадает в границы водослива и в подструйное пространство прорывается боль-

шое количество воздуха, который снижает величину вакуума и соответственно величину расхода.

Следует обратить внимание на то, что при $H/P \approx 0,48$ для всех случаев отмечался максимальный коэффициент расхода. В этом интервале значений H/P наблюдался меньший прорыв воздуха в подструйное пространство, наибольшее заполнение его водой, что свидетельствовало о наличии пониженного давления под струей. С увеличением $H/P > 0,5$ происходил более интенсивный обмен воздуха подструйного пространства с внешней средой.

Для исследованных конструкций значение m изменяется в небольших интервалах и для свободного истечения можно принять его значение постоянным и равным $m \approx 0,395$, так как максимальное отклонение значений не превышает 4%, что вполне приемлемо для практических расчетов.

Резюме. На основании результатов гидравлических исследований установлены режимы работы автоматического водослива трубчатого сооружения, рекомендуется режим истечения, при котором струя не касается низовой стенки оголовка. Пропускную способность автоматического водослива при принятом режиме истечения следует определять по формуле (1), принимая значение коэффициента объемного расхода равным $m \approx 0,395$ в интервале $H/P = 0,25-0,75$ или по рис. 2 в зависимости от очертания и длины выступа боковых стенок перед водосливом.

При проектировании оголовка трубчатого сооружения рекомендуется применять радиально закругленные кромки боковых стенок, выступающие перед водосливом на 30-50 см, так как при меньшей величине снижается пропускная способность.

Л и т е р а т у р а

1. Розовський І.Л., Цветков П.К. Низьконапірні шахтні водоскиди при земляних греблях. Київ, 1962. 2. Эйснер Ф. Экспериментальная гидравлика сооружений и открытых русел. М.-Л., 1937.