

Н.М.Кунцевич, Мурильо Аякс  
(БГПА)

### НИЗКОНАПОРНЫЙ БАШЕННЫЙ ВОДОСБОРС С ДВУХъярусНОЙ ТРУБОЙ И ЕГО ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

Для гашения избыточной энергии потока за водосборными сооружениями наиболее эффективным считается способ, основанный на соударении вытекающих струй, направленных под углом друг к другу [1]. Однако использование этого способа для низконапорных трубчатых водосборов затруднено из-за сложности разделения и изменения направления струй выходящего потока. Гашение избыточной энергии потока при переливе через верх башни путем соударения с дном ее и изменением направления движения также эффективно, хотя и не использует эффекта соударения струй, но требует больших плановых размеров башни, что влечет значительное удорожание сооружения. К тому же пропуск расходов через верх башни ограничивается повышением уровня в водохранилище на 1-1,5 м из-за значительного затопления территории и требованием утяжеления башни против всплывания, поэтому пропуск расходов через донные отверстия, находящиеся под большим напором, позволяет сократить размеры сооружения, хотя увеличивает скорости на выходе из трубы.

Для использования эффекта соударения струй при пропуске расходов через донные отверстия в низконапорных трубчатых водосборах разработана конструкция башенного водосбора (рис.1) с двухъярусной отводящей трубой [2]. При пропуске расчетных расходов поток через разные по высоте, расположенные друг над другом, два отверстия в башне поступает в двухъярусную трубу, нижняя часть которой заканчивается водобойным колодцем, перекрытым сверху решетчатой плитой. Верх нижней трубы является дном верхней и располагается на уровне дна отводящего канала. Нижний поток, выходящий под большим напором, проходит через решетки перпендикулярно верхнему, пересекается с ним и гасит избыточную энергию путем соударения струй.

Конструкции подобных низконапорных трубчатых водосборов с тонкой разделительной стенкой гидравлически не исследованы, хотя совместная работа двухъярусных сооружений исследовалась и высказывались мнения об изменении структуры потока в верхнем бьефе и влиянии ее на пропускную способность. Так, И.Я.Татаров [3], исследуя пропускную способность водослива, работающего совместно с донными трубами, обраца-

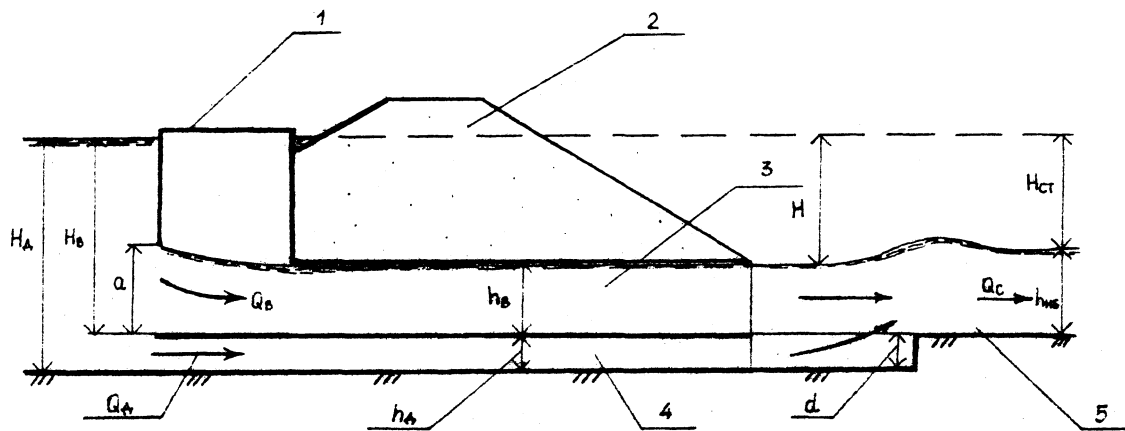


Рис.1. Схема башенного водосбора с двухъярусной трубой.

1 - башня; 2 - грунтовая плотина; 3 и 4 - верхняя и нижняя трубы; 5 - отводящий канал

ет внимание на то, что при извилистой работе водослива заметно падает его пропускная способность, а в пространственных условиях из-за влияния бокового сжатия коэффициент расхода становится несколько меньше, чем в условиях плоской задачи.

Н.В.Синицын [4], изучая влияние структуры потока в верхнем бьефе на пропускную способность двухъярусных отверстий, показывает, что изменение структуры потока в верхнем бьефе влечет увеличение пропускной способности верхнего отверстия (до 12 %) и уменьшение расхода через донное отверстие (до 4 %), хотя суммарная пропускная способность сооружения остается практически без изменения.

Исследуя совместную работу многорядных труб, авторы [5] показывают, что пропускная способность нижнего яруса труб ниже, а верхнего выше при совместной работе отверстий по сравнению с изолированной работой их. Отсутствие порога со стороны верхнего бьефа увеличивает пропускную способность отдельно работающих труб и совсем незначительно - при совместной работе многоочкового водосброса. Сравнение пропускной способности труб многоочкового и одноочкового двухъярусного водосброса показывает, что у изолированного одноочкового водосброса она выше.

С.М.Слесский [6] отмечает, что пока нет строгих данных о взаимодействии потоков в верхнем бьефе двухъярусных сооружений, поэтому расчет пропускной способности следует проводить для каждого из отверстий как одноярусного сооружения, но с учетом того, что для верхнего отверстия берется напор не от дна подводящего канала, а от условной разделительной линии (восходящего и нисходящего потоков) без учета скоростного напора в пространственных условиях (с.337) и принятое ее положение в расчетах лучше там, где теснее раздельный оголовок между ярусами (с.127).

При совместной работе отверстий происходит значительное увеличение коэффициента вертикального сжатия донной струи [7], что нельзя не учитывать при конструировании двухъярусных сооружений.

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что нельзя однозначно перенести их на работу предложенной конструкции башенного водосброса с двухъярусной трубой, так как в конструкции толщина разделительной стенки между отверстиями мала по сравнению с глубиной в верхнем бьефе (1:25-1:40) и высотами отверстий труб (1:5 - 1:15). Ранее исследованы конструкции без водобойного колодца, при этом недостаточно изучена работа отверстий в пространственных условиях, при наличии башен, с длинными труба-

ми и водобойным колодцем, подводющим и отводящим каналами трапецеидального сечения и др.

Гидравлические исследования проводились на модели башенного водосброса, выполненной из органического стекла в масштабе 1:8 - 1:15 н.в. и установленной в лотке шириной 1 м. Высота башни водосброса - 40 см, ширина труб в свету - 10 см, высота донной трубы - 5 см, верхней - 5-15 см, длина трубы - 1,5 м, уклон труб и каналов  $\alpha = 0$ . Измерение расходов велось треугольным водосливом, установленным в верхнем бьефе. Исследования проведены при длине водобойного колодца, не влияющей на пропускную способность, и без перелива воды через верх башни.

При конструировании водосброса и проведении гидравлических исследований учитывались результаты ранее проведенных исследований, но не всегда уделялось внимание выявлению влияния отдельных элементов или их параметров на работу сооружения, а оценивалась их совместная работа в целом.

Проведенные гидравлические исследования показали, что в пространственных условиях не представляется возможным определить в верхнем бьефе визуально (краска, нити) или по эпюрам скоростей границу раздела между потоками, поступающими в верхнюю и нижнюю трубы, так как сложное сжатие потока (в плане и в вертикальной плоскости) вызвано элементами конструкции (подводящий канал, открышки, башня, пазы затворов, откосы грунтовой плотины и др.). Поэтому линия раздела принята условной, совпадающей с дном верхней трубы.

Анализ работ по определению пропускной способности отверстий при совместной работе показывает, что авторы [3-6] предлагают вести расчет ее раздельно для верхнего и нижнего отверстий независимо от схемы их работы, а затем расходы суммировать.

При установлении схемы работы башенного водосброса принято, что затворы поднимаются и сначала открывают донное отверстие (трубу), а затем - верхнее, высота которого определялась из расчета, что при незатопленном истечении через это отверстие поток свободно, без удара о низовую стенку башни входит в верхнюю трубу и не касается верхней ее кромки [8]. При таком открытии затвора обеспечивается максимальная пропускная способность трубы, не наблюдается вакуирования и сильного колебания потока в башне. Соотношение высот верхнего отверстия и трубы подтверждает данные, приведенные в работе [7].

Опытами установлено, что пропускная способность труб (отвер-

ствий) башенного водосброса при совместной работе  $Q_c^o$  практически равна сумме расходов донной  $Q_d^{p(o)}$  и верхней  $Q_B^{p(o)}$  труб при раздельной их работе. Расходы труб во всех диапазонах исследований не имеют линейной зависимости от напоров. При совместной работе труб величины расходов отличаются от величин суммарных расходов труб до  $\pm 12\%$ . Хотя пропускная способность труб при совместной работе  $Q_c$  практически равна сумме расходов донной  $Q_d^p$  и верхней  $Q_B^p$  труб при раздельной работе, но правильнее их зависимость представить в виде

$$Q_c = k(Q_d^p + Q_B^p). \quad (1)$$

Коэффициент  $k$  выражает соотношение расходов при совместной работе труб и суммарных (донной и верхней) при раздельной их работе. Значение коэффициента  $k$  в диапазоне исследований изменяется от 0,98 до 1,14. Установить зависимость  $k$  от соотношения расходов, проходящих через полное сечение донной и верхней труб, не представилось возможным, а было замечено, что величина  $k$  изменяется от степени подтопления выходящего в нижний бьеф потока. Так, для совместно работающих труб и свободном истечении в нижний бьеф, когда поток, выходящий из верхней трубы, больше отклоняется вниз и, очевидно, оказывает большее сопротивление потоку, выходящему из донной трубы, значение  $k$  близко к 1. С повышением глубин в нижнем бьефе схема истечения потока несколько изменяется, так как выходящий поток из верхней трубы как бы приподнимается и пропускная способность совместно работающих труб становится больше, чем сумма расходов, пропускаемых отдельно работающими трубами, и значение коэффициента  $k$  становится больше 1.

Проведенные исследования подтвердили данные опытов Н.Н. Степанова [9], полученные для совместной работы донных водосбросов с отводами отсасывающих труб гидротурбинного блока при различном открытии донных затворов, где значение  $k$  учитывалось при определении пропускной способности. При этом значение  $k$  изменялось в пределах 0,83–1,05 и показана его зависимость от степени открытия донного затвора. При этом меньшее значение  $k$  соответствует полному открытию затворов. На основании данных опытов можно предположить, что на величину  $k$  влияет соотношение пропускаемых расходов, однако наши опыты не подтвердили это предположение.

На основании полученных данных мы склонны предположить, что коэффициент  $k$  больше зависит от степени заполнения труб и схе-

мы присоединения расхода. Значение  $k$  по результатам наших исследований независимо от соотношения расходов и перепада уровней можно принять равным  $\approx 1,06$  (рис.2). Подтверждением данного предположения является хорошее совпадение опытных расходов при совместной работе труб с рассчитанными по формуле (1) с использованием ниже приведенной методики для определения пропускной способности донной и верхней труб при раздельной их работе (рис.3).

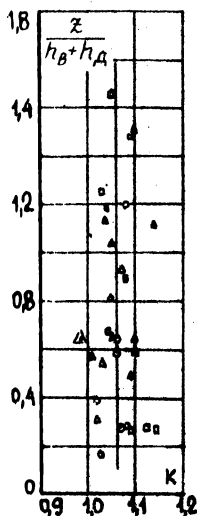
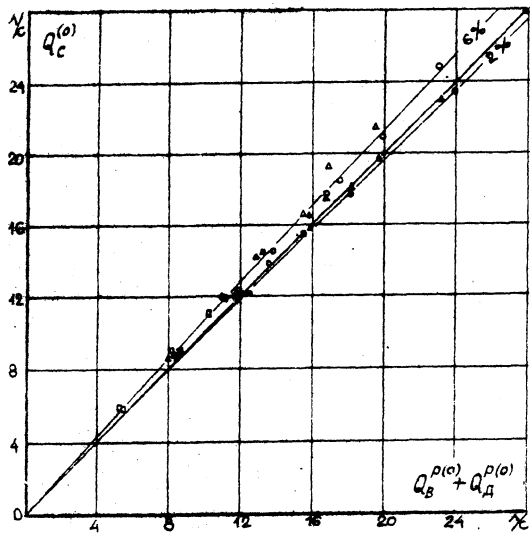


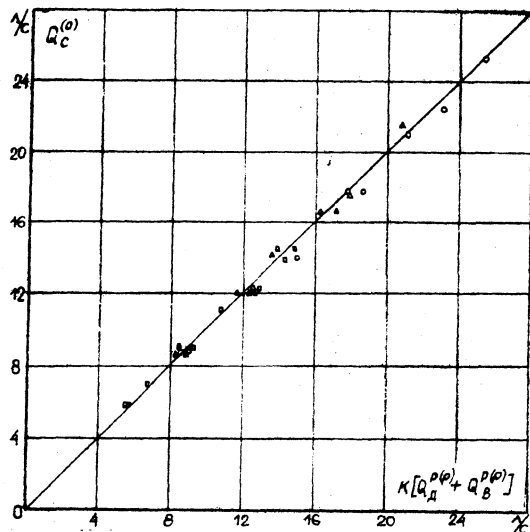
Рис.2. Зависимость коэффициента  $k$  от соотношения перепада уровней в бьефах  $Z$  и суммы высот  $h_B$  и  $h_D$ .

При расчете пропускной способности труб приходится сталкиваться также с проблемой определения величины напора, а следовательно, и коэффициента расхода. Здесь следует согласиться с С.М.Слисским [6] (с.348), что можно брать две величины напора, а следовательно, и коэффициента расхода. Напор можно определить по разности удельных энергий потока - сечения в верхнем бьефе и двумя сечениями в нижнем бьефе - в створе выходного отверстия из трубы или в створе нормального распределения скоростей. Определение средней (удельной) энергии в створе выходного отверстия на практике связано с трудностями, так как в лаборатории ее определяют с помощью пьезометров по эпюре давлений. К тому же ее величина зависит от соотношения уровней воды в бьефах, степени затопленности выходного сечения, конструкции выхода и др. Так, при наличии длинной разделительной полки в нижнем бьефе, когда не нарушаются кривизна струй и гидростатическое распределение давлений, значения энергии в названных сечениях близки друг к другу, а при подтоплении выравниваются [6].

На практике более рационально измерять статические уровни в верхнем и нижнем бьефах в сечениях с нормальным распределением ско-



а



б

Рис.3. Сравнение расходов, пропускаемых через башенный водосбор:  
 а - опытных при совместной работе труб  $Q_c^{(o)}$  и суммы расходов при раздельной работе донной  $Q_D^{P(o)}$  и верхней  $Q_B^{P(o)}$  труб; б - опытных при совместной работе труб  $Q_c^{(o)}$  и рассчитанных по формуле (I)

$$\frac{h_e}{h_d} = \begin{matrix} \square - 1,0; \triangle - 1,5; \circ - 2,0 & \text{— свободное истечение} \\ \blacksquare - 1,0; \blacktriangle - 1,5; \bullet - 2,0 & \text{— затопленное истечение} \end{matrix}$$

ростей потока, где имеются зависимости уровней воды от расходов, и по перепаду уровней  $z$  определять величину напора.

Пропускную способность донной трубы при раздельной работе рекомендуется определять по формуле:

$$Q_d^p = \mu_d^p \omega_d \sqrt{2g [H_d - (h_{NB} + d)]}, \quad (2)$$

- где  $\mu_d^p$  - коэффициент расхода донной трубы при раздельной работе;  
 $\omega_d$  - площадь поперечного сечения донной трубы;  
 $H_d$  - глубина воды в верхнем бьефе до дна нижней трубы (разность отметок уровня воды в водоеме и дна нижней трубы);  
 $h_{NB}$  - глубина воды в отводящем канале;  
 $d$  - глубина водобойного колодца.

Так как эксплуатационникам удобнее определять статический

напор  $H_{ст} = z = H_d - (h_{NB} + d)$ , то его значение принято при определении коэффициента расхода. На основании опытных данных значение коэффициента расхода  $\mu_d^p$  изменяется в пределах 0,67-0,81. Его значения переменны и зависят от режима сопряжения бьефов, глубин воды и др.

Следует отметить, что при незначительном подтоплении донной трубы коэффициент расхода имеет почти постоянное значение  $\mu_d^p = 0,78$  и только при малых перепадах уровней, когда  $z \leq (1,4-1,5)h_d$ , коэффициент расхода имеет переменное значение ( $h_d$  - высота донной трубы).

Значение коэффициента расхода  $\mu_d^p$  рекомендуется определять в зависимости от соотношения перепада уровней и высоты донной трубы (рис.4).

Работа донной трубы приближается к работе трубы с напорным вакуумным режимом, когда у потолка трубы устанавливается пониженное давление, а на входе, в месте наибольшего сжатия потока, образуется зона наиболее пониженных давлений. В

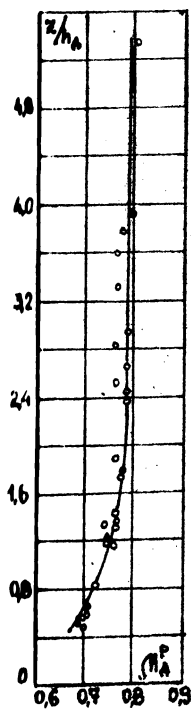


Рис.4. Зависимость коэффициента расхода донной трубы при раздельной работе от соотношения перепада уровней в бьефах  $z$  и высоты донной трубы  $h_d$ .



эту зону при работе "дорожных труб" может прорываться воздух и в сооружении будут возникать неблагоприятные явления. В башенном водосбросе из-за водобойного колодца происходит постоянное подтопление трубы на выходе и эти явления не возникают.

Пропускная способность верхней трубы при раздельной работе  $Q_B^p$  может определяться по формуле:

$$Q_B^p = \mu_B^p \omega_B \sqrt{2g(H_B - h_{нБ})}, \quad (3)$$

где  $\mu_B^p$  - коэффициент расхода верхней трубы при раздельной работе;

$\omega_B$  - площадь поперечного сечения верхней трубы;

$H_B$  - глубина воды в водоеме до дна верхней трубы (разность отметок уровней воды в водоеме и дна верхней трубы).

На основании проведенных опытов получены значения коэффициентов расхода  $\mu_B^p$ , которые можно принять постоянными и равными  $\approx 0,63$  независимо от глубин потока; они совпадают с данными, полученными при исследовании подобных конструкций с истечением из-под щита [8].

Принимая переменное значение коэффициента расхода для донной трубы в зависимости от перепада уровней и постоянное значение его для верхней трубы, получаем хорошее совпадение опытных данных для совместной работы труб и суммы рассчитанных для раздельной их работы с введением коэффициента  $k = 1,06$  (рис.3).

Таким образом, проведенные гидравлические исследования башенного водосброса с двухъярусной трубой и водобойным колодцем с подводными и отводящими каналами трапецидального сечения в пространственных условиях показали, что работа такого сооружения не отличается от ранее исследованных двухъярусных сооружений, однако при совместной работе труб их пропускная способность несколько выше суммы расходов раздельно работающих труб и ее следует определять, принимая в расчет коэффициент, учитывающий совместную работу труб.

#### Литература

1. Складнев Б.М. Эффект гашения энергии при соударении потоков. - Вопросы гидротехники и гидравлики. - Киев, 1969. - С.30-32.
2. Кунцевич Н.М., Мурильо Аякс. Башенный водосброс с двухъярусной трубой для малых водоемов//Мелиорация и водное хозяйство.- 1990. - № 10. - С. 32-33.

3. Татаров И.Я. О пропускной способности водослива с широким порогом, работающим совместно с донными отверстиями// Изв.вузов СССР. Строительство и архитектура. - 1964. - № 2. - С. 22.

4. Сеницын Н.В. О влиянии распределения пстока на подходе к сооружению на пропускную способность двухъярусных водоводов/Матер. респ. научн.-техн. совещ. по изучению, комплексному использованию и охране водных ресурсов. - Вып. 6. - Минск, 1965. - С. 102-105.

5. Палишкин И.А., Русецкий А.П. Исследование совместной работы поверхностных и донных многорядных трубчатых водосбросов.Аннотации законченных в 1963 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике. - Л.: Энергия, 1965. - С. 546-548.

6. Слиский С.М. Гидравлика зданий гидроэлектростанций. - М: Энергия, 1970. - 420 с.

7. Будыка С.Х., Вопнярский И.П., Козлов Д.А. Учет влияния распределения потока перед двоянным затвором на параметры донной струи// Доклады АН БССР. Т. ХУП. - 1973. - № 3. - С. 269-271.

8. Кунцевич Н.М. Гидравлические исследования башенных водосбросов рыбоводных прудов// Автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. - Минск, 1970. - 25 с.

9. Степанов Н.Н. Экспериментальное определение пропускной способности здания ГЭС с донными водосбросами, совмещенными с отводами отсасывающих труб// Гидравлика и гидротехника, вып. 21. - Киев.- 1975. - С. 75-79.

---

УДК 627.41

Е.М.Левкевич (БГПА)

**ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УСИЛЕННОЙ  
ШЕРОХОВАТОСТИ ПЛИТ ПОКРЫТИЙ ВЕРХОВЫХ ОТКОСОВ  
ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН НА ВЫСОТУ НАКАТА ВОЛНЫ**

Для защиты верховых откосов земляных плотин, напорных дамб, берегов водохранилищ и морей от размыва используются крепления, различные по капитальности, конструкциям и применяемым материалам.