

УДК 502/504:627.832:62-503.51

Д. М. БЕНИН, В. Л. СНЕЖКО

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

УВЕЛИЧЕНИЕ ДИАПАЗОНА РАБОТЫ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ВОДОВЫПУСКОВ-СТАБИЛИЗАТОРОВ РАСХОДА

Представлены результаты экспериментальных исследований гидродинамических стабилизаторов расхода воды, использующих в качестве сигнала управления уровень верхнего бьефа. Предложенные конструкции имеют более высокий диапазон работы по напорам и более просты в конструктивном исполнении.

Гидротехнические сооружения, водовыпуски, автоматизация.

The results of experimental studies of hydrodynamic stabilizers of water flow which use the upstream level as a control signal, feeding a control signal from the upper pool. The proposed designs have a higher range of work on pressure and they are simpler in design.

Hydraulic structures, culverts, automation.

Основные водопроводящие сооружения малых гидроузлов – это водосброс, обеспечивающий проектный режим эксплуатации водохранилища в период пропуска паводка, и водовыпуск, основное назначение которого – подача расхода полезных попусков в речное русло. По данным обследования гидротехнических сооружений водохранилищ Московской области, на гидроузлах, имеющих в своем составе водовыпускные сооружения, служба эксплуатации была предусмотрена не более чем на 30 % объектов, при этом неудовлетворительный и опасный уровень безопасности водовыпусков был зафиксирован на 50 % объектов [1]. На большинстве водовыпусков не работали задвижки, необходимые для регулирования подачи расхода; колодцы, в которых они размещались, оказались затопленными; в нижнем бьефе наблюдались зоны размыва русла вблизи выходных участков сооружений.

Одна из научных проблем перспективного развития гидротехнического строительства – создание эффективных конструкций гидротехнических сооружений, позволяющих снизить затраты на капитальное строительство [2]. В настоящее время ведутся работы по ремонту и реконструкции малых водохранилищных гидроузлов, поэтому актуальной задачей является разработка новых конструкций автоматических водовыпусков, не подверженных сбоям из-за механических повреждений датчиков уровня и передаточных устройств и не требующих постоянного присутствия эксплуатационного персонала.

Гидродинамические стабилизаторы являются автоматическими сооружениями, стабилизирующими расход водовыпусков низконапорных гидроузлов. Это устройства непрерывного регулирования, варьирующие свою пропускную способность в достаточно широких пределах как функцию изменения горизонта воды в водохранилище без вмешательства механически регулирующих узлов и датчиков уровня. Основы гидродинамического регулирования и первые экспериментальные исследования технических средств, его реализующих, выполнены в работах [3, 4]. По принципу действия разработанные водовыпуски отнесены к группе гидроавтоматов, производящих стабилизацию изменением коэффициента расхода в функции \sqrt{H} (H – перепад между бьефами). Они образовали новую классификационную группу, соответствующую способу регулирования – использование дополнительных гидравлических потерь при слиянии напорного транзитного и управляющего потоков, причем мощность транзитного потока превысила мощность управляющего. Конструкции гидродинамических стабилизаторов расхода сформировали новую группу технических средств, реализующих указанный способ регулирования – конструкции с диффузорным низовым участком.

Основной регулирующий орган стабилизаторов – камера слияния, в которой происходит взаимодействие транзитного и управляющего потоков. Она характеризуется углом подвода расхода управления β , площадью управляющего ω_0 и

транзитного ω_c водоводов, совокупность которых дает динамику коэффициента сопротивления камеры. Не менее важную роль в процессе регулирования играет диффузор, расположенный на концевом участке, его степень и углы расширения n_1 и γ соответственно (рис. 1).

Проточная часть существующих стабилизаторов имела квадратное сечение, удобное для исполнения в бетоне. Наиболее простые в технологическом исполнении углы подвода управляющего потока $\beta = 90^\circ$ рекомендовались только в сочетании с диффузорами, несимметрично

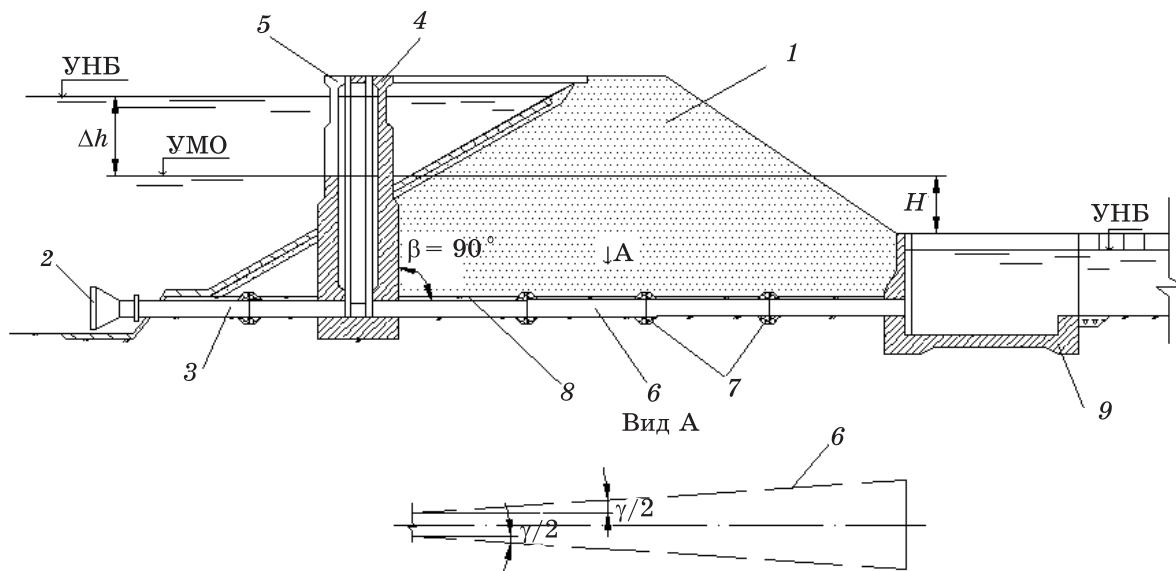


Рис. 1. Конструктивная схема гидродинамического стабилизатора расхода: 1 – плотина; 2 – входной оголовок водовыпуска; 3 – транзитный водовод; 4 – управляющая башня; 5 – боковая стенка водослива; 6 – диффузор; 7 – диафрагмы; 8 – обсыпка мятой глиной; 9 – крепление выходного участка; 10 – водосливная грань

расширяющимися в трех плоскостях, что приводило к высоким значениям гидравлических сопротивлений выходных участков, снижающим диапазон стабилизации по напорам. Оптимальными считались конструкции с относительной площадью управления $\omega_c/\omega_c = 0,8...1,0$, имеющие относительный предел стабилизации по напорам $0,24...1,1$. Расширение диффузора в вертикальной плоскости затрудняло привязку стабилизаторов к бьефам, требующую заглубления выходной кромки под минимальный уровень для обеспечения устойчивого напорного режима работы. В существующих конструкциях плоские диффузоры рекомендовались только с относительной площадью управления $0,8$ при угле подвода потока управления 135° , что значительно ослабляло верхнюю стенку транзитного водовода, было технически сложновыполнимым. Плоские диффузоры, более простые в исполнении и не требующие заглубления подземной части сооружения, не давали эффекта из-за малых степеней расширения. Между тем при оптимально подобранных параметрах они могли эффективно снижать

пьезометрическую линию водовыпуска, обеспечивая минимальное значение гидравлических сопротивлений и увеличивая диапазон стабилизации. Конструкции, имеющие подвод управляющего потока под прямым углом, транзитный и управляющий водоводы круглого сечения из стальных труб и плоский диффузор прямоугольного сечения, выполненный из бетона, являются технологически более простыми.

С учетом перечисленных требований авторами предложен ряд усовершенствований проточной части гидродинамических стабилизаторов расхода по верхнему бьефу. Предпочтение отдано стабилизаторам с плоскими диффузорами, прямым углом подвода потока управления и относительной управляющей площадью не более $0,6$.

Положение горизонта воды в управляющей башне определяется так:

$$\frac{\Delta H_{ш}}{H} = \frac{-(\zeta_{б.с.} + \zeta_n) \cdot (1 + m)^2 - (1 + m)\Delta\alpha + m^2\zeta_{ш.с.}}{(\zeta_{т.с.} + \zeta_n) \cdot (1 + m)^2 + (1 + m)m\Delta\alpha + \zeta_{т.с.}}$$

где $\Delta H_{\text{ш}}$ – разность между горизонтом воды в шахте и УНБ; H – напор на сооружение; $\zeta_{\text{б.с.}}$ – коэффициент местного сопротивления потока управления, приведенный к сечению перед диффузором; $\zeta_{\text{н}}$ – коэффициент сопротивления диффузора при выходе в бьеф; m – относительный управляющий расход, $m = q/Q$ (здесь q – расход управления, Q – расход транзитного водовода); $\Delta\alpha$ – разность коэффициента Кориолиса для распределения скоростей транзитного и управляющего потоков в сечении перед диффузором; $\zeta_{\text{ш.с.}}$ – коэффициент местного сопротивления башни, приведенный к сечению перед диффузором.

При стабилизации со стороны верхнего бьефа возможны три случая работы сооружения: $\Delta H_{\text{ш}} > 0$ при положении уровня воды в управляющей башне ниже нижнего бьефа; $\Delta H_{\text{ш}} = 0$ при выравнивании горизонтов воды в управляющей башне и нижнем бьефе; $\Delta H_{\text{ш}} < 0$ при положении горизонта воды в управляющей башне выше нижнего бьефа. Стабилизация прекращается при $\Delta H_{\text{ш}}/H = -1$ или при выравнивании горизонта воды в управляющей башне и верхнем бьефе. Предел стабилизации горизонта воды в башне связан с приращением верхнего бьефа через коэффициент расхода стабилизатора, который является убывающей функцией относительного управляющего расхода – $\mu = f(m)$.

Работа конструкций, для которых теоретические значения диапазона стабилизации оказались максимальными, была экспериментально исследована в лаборатории гидравлики Московского государственного университета природообустройства. На рис. 2 представлены теоретические и экспериментальные значения для двух вариантов стабилизаторов с усовершенствованной проточной частью, имеющих угол подвода потока управления 90° , относительную управляющую площадь 0,6 и водоводы круглого сечения. Плоский прямоугольный диффузор для обоих вариантов имеет степень расширения $n_1 = 4$ при углах расширения в горизонтальной плоскости 8° (верхняя кривая) и 30° (нижняя кривая). Безотрывность течения и снижение коэффициента сопротивления в укороченном диффузоре достигнуто устройством двух разделительных стенок.

Точность стабилизации – это отклонение суммарного расхода водовыпуска от первоначального. Для всех исследованных конструкций подбор ширины водосливного фронта в стенке управляющей башни позволяет обеспечивать точность стабилизации, не превышающую 5 %.

Выводы

Экспериментальные исследования гидродинамических стабилизаторов с

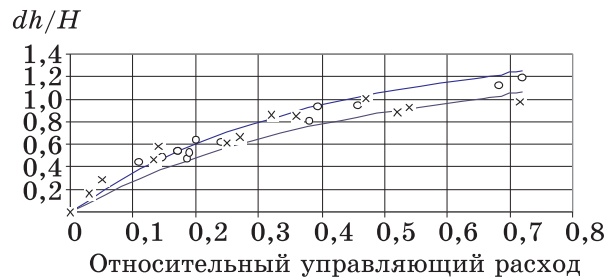


Рис. 2. Диапазоны стабилизации конструкций с плоскими диффузорами

усовершенствованной конструкцией проточной части подтвердили, что слияние расхода, поступающего через башню, и транзитного расхода в соотношении 0,6 обеспечит постоянство водоподачи при росте напора на 100...120 %. Это в 1,25...1,5 раза выше, чем допустимый диапазон колебаний напора у существующих конструкций. Немногие технические устройства, в которых используются другие способы стабилизации расхода, обладают такими возможностями. Гидродинамическая стабилизация для автоматизации водовыпускных сооружений является перспективным направлением исследований.

1. Каганов Г. М., Волков В. И., Секисова И. А. Анализ состояния низконапорных гидротехнических сооружений Российской Федерации на примере обследования гидроузлов Московской области // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 8. – С. 26–37.

2. Румянцев И. С. Проблемы гидротехнического строительства в России // Природообустройство. – 2008. – № 1. – С. 12–17.

3. Снежко В. Л., Беглярова Э. С., Лысенко П. Е. Автоматические водовыпуски низконапорных гидроузлов с гидродинамическим регулированием расхода // Мелиорация и водное хозяйство. – 2004. – № 6. – С. 20–22.

4. Снежко В. Л. К вопросу автоматизации напорных водовыпускных сооружений малых гидроузлов // Перспективы науки. – 2010. – № 10 (12). – С. 54–58.

Материал поступил в редакцию 15.03.11.

Снежко Вера Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Вычислительная техника и прикладная математика»

Тел. 8 (499) 153-97-66, 8-909-943-55-33

E-mail: VL_Snejko@mail.ru

Бенин Дмитрий Михайлович, аспирант

E-mail: dmitrij552@mail.ru