

С. В. Борткевич [и др.]. – Оpubл. 1992. – Бюл. № 9. – 2 с.

11. Программа расчета откосов плотин из упрочненного гравийно-галечникового грунта: Свид. об офиц. рег. пр. для ЭВМ № 980297. – Оpubл. 1998.

12. Способ возведения земляного сооружения: А. с. 2055118 / В. С. Борткевич [и др.]. – Оpubл. 1996. – Бюл. № 6. – 3 с.

13. Разработка способа упрочнения гравийно-галечниковых грунтов в каменно-земляных плотинах / Архиппова Е. К. [и др.] // Гидротехническое строительство. – 1995. – № 1. – С. 18–22.

14. В Китае идет строительство самой высокой плотины в мире [Электронный ресурс]. – URL: [http://blog.rushydro.](http://blog.rushydro.ru/?m=20110720)

[ru/?m=20110720](http://blog.rushydro.ru/?m=20110720) (дата обращения 20.08.2011).

15. Родькин А. П. Геосинтетические материалы для дорожного строительства // Строительные материалы. – 2000. – № 12. – С. 24–28.

Материал поступил в редакцию 28.08.14.

Борткевич Виктор Станиславович, заместитель генерального директора, главный инженер

Тел. 8 (495) 956-19-47

E-mail: bortkevich@muknii.pr.ru

Жерихин Александр Сергеевич, главный инженер проекта

Тел. 8-926-354-90-33

E-mail: zas@gitest.ru

УДК 502/504:627.838

Ф. Х. АУБАКИРОВА

Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова

ГАШЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОЙ ЭНЕРГИИ ПОТОКА В ВОДОСБРОСНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ СОПРЯЖЕНИЯ БЬЕФОВ

В статье приведен обзор устройств нижнего бьефа водосбросных гидротехнических сооружений, применяемых для гашения избыточной энергии потока, предотвращения размыва грунта русла и устранения нарушения течения. Показано, что конструкция устройств нижнего бьефа подбирается в зависимости от режима сопряжения и типа грунта русла. Отмечена необходимость таких устройств для обеспечения безаварийной работы водосбросных сооружений. Рассмотрены достоинства и недостатки каждой формы сопряжения бьефов, представлены применяемые конструкции устройств нижнего бьефа, названы их положительные и отрицательные качества, а также области применения. Рассматриваются различные конструктивные решения таких устройств для гашения избыточной энергии в нижнем бьефе, как носок-уступ, ковшовый колодец, шашечный гаситель потока, носок-трамплин и другие.

Гашение избыточной энергии потока, водосбросные сооружения, сопряжение бьефов, устройства нижнего бьефа.

In the article there is given a survey of the lower pool arrangements of spillway hydraulic structures used for dissipation of excess flow energy, prevention channel soil from erosion and elimination of flow violation. It is shown that the design of the lower pool devices is arranged according to the conditions of conjugation and type of channel soil. There is marked a necessity of such devices for ensuring faultless operation of spillway structures. There are considered the advantages and disadvantages of each form of pools conjugation, presented the applied designs of the lower pool arrangement, named their positive and negative qualities as well as fields of usage. Different structural decisions of such devices are considered for dissipation of excess flow energy in the lower pool such as a deflecting bucket, bucket well, check flow dissipater, ski-jump bucket etc.

Dissipation of excess flow energy, spillway structures, conjugation of pools, arrangements of the lower pool.

Для нормальной безаварийной работы водосбросных сооружений важно запроектировать и предусмотреть устройства нижнего бьефа, которые обеспечат наиболее благоприятные формы сопряжения бьефов при различных режимах работы сооружения, и создадут условия для дополнительного гашения избыточной энергии потока. Изучению устройств нижнего бьефа посвящено большое количество теоретических работ и экспериментальных исследований, которые проводились в ведущих российских учреждениях (НИИЭС, ВНИИГиМ, ВОДГЕО, МГСУ, МГУП), украинских институтах (УкрНИИГиМ, УкрНУВХиП), организациях и университетах США, учебных и исследовательских институтах Великобритании, Индии, Канады и других стран. Определение реакций различных гасителей энергии рассмотрено в работах ведущих ученых и инженеров, как Н. П. Розанов, Н. Н. Пашков, Г. А. Юдицкий, Н. Н. Беляшевский, А. Н. Рахманов, Т. П. Проворова, Н. Т. Кавешников, Д. Баско и Дж. Адамс, С. К. Гомаста, К. Г. Ранга-Райю, Р. Нарайанан и другие.

Режим сопряжения бьефов водосбросных сооружений определяется двумя основными факторами: сужением водосливного фронта плотин по сравнению с шириной русла реки и значительной кинетической энергией потока из-за перепада уровней в бьефах. При этом необходимо отметить, что конструктивные особенности проектирования и расчета устройств нижнего бьефа гидротехнических сооружений в значительной степени зависят от режима сопряжения бьефов.

В практике современного гидротехнического строительства используют следующие схемы гашения избыточной энергии потока:

одна из форм гидравлического прыжка;

отброс или свободное падение струи, энергия которой гасится в нижнем бьефе или в воронке размыва;

соударение струй в водяной или воздушной среде;

гашение энергии в пределах сооружения при размещении гасителей на водопропускном тракте или с помощью специальных камер гашения;

комбинация двух или нескольких

перечисленных схем [1, 2].

При гашении избыточной энергии потока одной из форм гидравлического прыжка возможны два вида режимов, различающихся относительным расположением в вертикальной плоскости транзитной части потока:

поверхностный прыжок, когда транзитная струя располагается на поверхности потока или в непосредственной близости от нее;

донный прыжок – при устойчивом нахождении транзитной струи у дна.

Использование для гашения избыточной кинетической энергии потока поверхностного режима сопряжения позволяет значительно облегчить крепление, т. е. до минимума сократить длину крепления нижнего бьефа, уменьшить толщину плит и размеры каменной наброски. Сопряжение поверхностным режимом осуществляют с помощью носка-уступа или ковшовых колодцев различных типов.

Концевые части водосбросов, устроенные по типу носка-уступа, могут работать при нескольких поверхностных режимах, а также с донным режимом при сбросе малых расходов. При подборе высоты носка-уступа необходимо рассмотреть все возможные режимы гидравлических условий работы для обеспечения необходимой устойчивости существования поверхностного режима. Крепление нижнего бьефа на скальном основании при поверхностном режиме сопряжения является необязательным. Нижний бьеф на нескальных основаниях крепят бетонными плитами, каменной наброской, габионами, бетонными пирамидами и блоками.

Ковшовые колодцы получили распространение благодаря возможности гасить большую часть избыточной энергии потока в пределах концевой части водосливной плотины, то есть в пределах ковша. Применяют целевой, параболический с продольными ребрами, сплошной цилиндрический типы ковшовых колодцев. Когда глубина в нижнем бьефе незначительно отличается от той, которая необходима для гашения энергии с помощью затопленного донного прыжка, применяют сплошной цилиндрический гладкий ковшовый колодец (рис. 1).

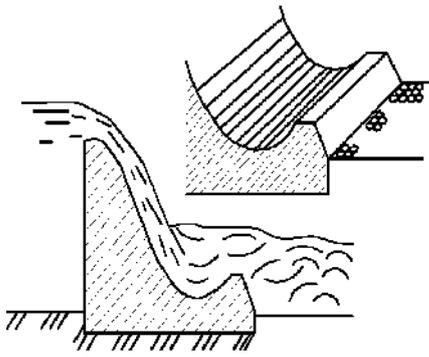


Рис. 1. Схема сплошного цилиндрического ковшового колодца

Одним из недостатков гладких «ковшей» является то, что скорости в донном «вальце» могут оказаться достаточными для перемещения грунта в «ковш», вследствие чего может развиваться абразивная эрозия поверхности «ковша». Для уменьшения поверхностного и донного водоворотов была разработана конструкция целевого ковшового колодца, в котором поток дробится на мелкие струи и распределяется более равномерно. Причем такая конструкция ковша обеспечивает его самоочистление от наносов и мусора. Прорезной ковш уступает гладкому ковшу в диапазоне глубин нижнего бьефа, при которых он эффективно работает. Параболический ковш с продольными ребрами применяют для уменьшения высоты волн, образующихся в нижнем бьефе (по сравнению с гладким ковшем) и для более благоприятного поверхностного режима сопряжения бьефов.

Недостатками поверхностного режима сопряжения бьефов, в определенной степени ограничивающим его широкое применение, можно считать:

- неустойчивость границ надежного существования его различных форм;

- невозможность его создания при малой высоте носка-уступа;

- неизбежность возникновения значительных колебаний уровня нижнего бьефа («раскачка» бьефа);

- необходимость относительно больших глубин нижнего бьефа.

Более распространенной и часто реализуемой формой сопряжения бьефов водосбросных сооружений является донный режим, при котором гидравлический прыжок на гладком водобое часто бывает недостаточен для эффективного гашения энергии, и в конце прыжка возникает значительная пульсация скоростей и неравномерное рас-

пределение средних скоростей потока по вертикали, вследствие чего рисберму удлиняют. При неравномерном распределении удельного расхода по ширине русла прыжок на гладком водобое практически не устраняет сбойность течения в нижнем бьефе. Поэтому на водобое устанавливают различные гасители энергии, среди которых получили наибольшее распространение водобойные стенки или пороги, пирсы или шашки, разрезные или зубчатые пороги, растекатели, струенаправляющие стенки. На рис.2 приведена схема шашечного гасителя, при прохождении которого качественно и количественно преобразуются режим и параметры потока, уменьшается длина водобоя. Расцепители улучшают работу гасителей и уменьшают удельный расход струи при падении, увеличивая эффективную глубину потока при выходе на водобой. Концевые пороги, отклоняя струи за водобоем, образуют длинные плоские «вальцы», взаимодействующие с транзитным потоком, и предохраняют от размыва незащищенное дно за рисбермой за счет уменьшения донных скоростей, и создают равномерное распределение расхода воды по ширине рисбермы. Быстрый износ углов из-за повреждения плавающими предметами и кавитационная эрозия ребер и плоскостей – общие недостатки всех растекателей, гасителей и расцепителей.

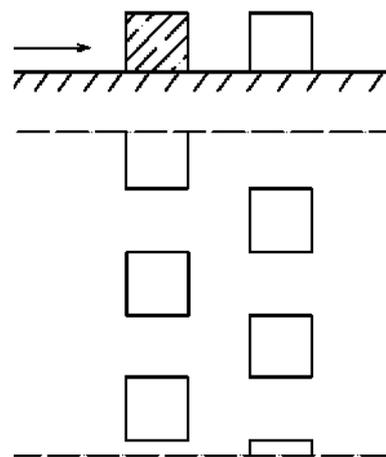


Рис. 2. Схема шашечного гасителя энергии потока

Недостаток донного режима сопряжения бьефов заключается в наличии значительных и медленно затухающих по длине донных скоростей, которые приводят к нежелательным размывам за креплением. Для его устранения необходимо

удлинить участок крепления, но это приведет к удорожанию всей конструкции.

Преимущества сопряжения бьефов с отбросом струи в экономическом и техническом отношении предопределили его широкое распространение. При падении струи часть ее энергии рассеивается из-за аэрации, а другая часть гасится в водяной подушке. Чаще всего, эту схему сопряжения используют, когда основание в зоне сопряжения представлено достаточно прочной скалой. При этом размыв, образующийся на определенном расстоянии от концевой части водосброса, не должен распространяться вверх по течению, чтобы не привести к угрозе устойчивости сооружения, а зона боковых размывов не должна вызывать обрушение берегов и находящихся на них строений. Поэтому схему сопряжения с отбросом струи можно применять в двух возможных вариантах:

с отбросом струи непосредственно в естественное русло и последующим образованием размыва;

с отбросом струи в предварительно устроенную яму размыва (с устройством крепления ее поверхности или без него) или в специальный водобойный колодец.

В первом случае необходимо, чтобы участок падения струи располагался в зоне самых больших глубин русла. При этом «воронка» должна располагаться на большом расстоянии от плотины, чтобы уменьшить ожидаемую глубину размыва. Для этого удлиняют и сужают транзитную часть, увеличивая скорость потока на ней, а также подбирают оптимальный угол наклона носка-трамплина, расширяют струю на сходе с него и увеличивают глубину водяной подушки в месте падения струи.

Во втором случае отброс струи в нижний бьеф осуществляют не только с помощью носков-трамплинов, но и непосредственно из отверстий глубинных водосбросов. Эта схема сопряжения с отбросом струи получила широкое распространение в мировой гидротехнической практике. Преимущество этой схемы заключается в отсутствии носка-трамплина, а недостаток – в ухудшении возможностей управления сбросным потоком и в его более равномерном сбросе по большей части ширины бьефа.

При отбросе струи в водобойный колодец или на специальное железобетонное покрытие необходимо, чтобы бетонное крепление (водобой) охватывало всю зону падения струи. Проектировщики стремятся к тому, чтобы над водобоем была водяная «подушка» достаточной глубины, которую иногда увели-

чивают, ограждая водобой специальной стенкой. Параметры плит назначают с учетом нагрузок и вибраций, возникающих под воздействием падающих струй. Для предотвращения «выпора» плит под водобоем устраивают специальный дренаж. Уменьшение гидродинамических воздействий на крепление и скальное основание достигается интенсивным аэрированием потока с помощью расщепителей на участке схода потока с носка-трамплина, а также с помощью конструкций носков, имеющих поверхность двойной кривизны.

В современной практике широкое распространение получили следующие типы носков-трамплинов: зубчатый носок, носок с направленным отбросом, носок с трапециевидальными расщепителями. Трамплин с зубчатым носком позволяет раздробить струю в вертикальной плоскости. Носок с направленным отбросом (рис. 3) концентрирует струю в центральной части носка-трамплина для обеспечения более благоприятных условий сопряжения бьефов и уменьшения размывов. Носок с трапециевидальными расщепителями позволяет расширить струю в плане и в вертикальной плоскости для уменьшения нагрузок и размывов.

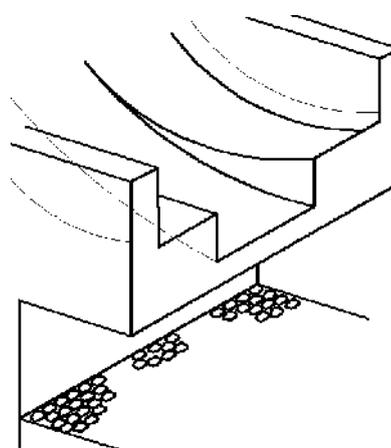


Рис. 3. Схема носка-трамплина с направленным отбросом

Выводы

Сопряжение бьефов отбросом струи требует достоверного прогноза формы и размеров воронки размыва и гряды отложения продуктов разрушения основания.

Гашение избыточной энергии потока в нижнем бьефе водосбросных сооружений в сильной степени зависит от режима сопряжения бьефов, который можно разделить на поверхностный, донный и отброс струи. В зависимости от формы сопряжения подбирается конструкция

устройств нижнего бьефа.

Разработаны и исследованы различные устройства для гашения энергии потока и уменьшения местных размывов за сооружениями. В то же время актуальной задачей остается разработка новых устройств нижнего бьефа с учетом особенностей конструкций и режимов работы сооружений, а также оптимизация конструктивных решений существующих гасителей энергии.

1. Гидротехнические сооружения:

учебник для вузов / под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

2. Мелиорация и водное хозяйство. Сооружения: справочник; под ред. П. А. Полад-заде. – М.: Агропромиздат, 1987. – 464 с.

Материал поступил в редакцию 10.11.14.

Аубакирова Фарида Хабиевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водные ресурсы, землепользование и аграрная техника»

Тел. 8-915-103-73-40

E-mail: faraub1011@mail.r

УДК 502/504:627.427.2

Э. С. БЕГЛЯРОВА, А. В. ДМИТРИЕВА, С. А. СОКОЛОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАИЛЕНИЯ ПОДПЕРТЫХ БЬЕФОВ МАЛЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ГОРНО-ПРЕДГОРНЫХ РЕКАХ

Приведены результаты анализа и оценки занесения подпертых бьефов малых водохранилищ на горных и предгорных реках. Даны комплексные решения и предложения по борьбе с наносами для повышения эффективности эксплуатации низконапорных гидроузлов на горных реках. Изучено влияние потока на систему барражей в верхнем бьефе, снижающих скорость занесения верхнего бьефа гидроузла влекомыми наносами. Получены эмпирические зависимости для расчета расстояния между барражами и уклона занесения гряды при наличии донных порогов. Приведены результаты лабораторных исследований при соблюдении натурным условиям динамического, геометрического подобия и неразмывающих скоростей. Установлено, что с уменьшением чисел Фруда, объемы отложений между барражами уменьшаются. Отмечено, что способ возведения барражей более эффективен, чем смыв наносов в нижний бьеф. Перечислены мероприятия комплексного решения проблемы занесения верхнего бьефа гидроузла.

Заиление, верхний бьеф, гидроузел, наносы, барражи, динамическое подобие, геометрическое подобие, скорость потока.

There are given results of the analysis and assessment of alleviation of supported pools of small reservoirs on mountain and submountain rivers. There are given complex solutions and proposals on alleviation control to raise efficiency of operation of low head hydraulic units on mountain rivers. The flow influence on the system of barrages in the upper pool is investigated which reduce the speed of the hydraulic unit upper pool alleviating by drawn drifts. The empiric dependencies are obtained for calculation of the distance between barrages and the inclination of range alleviation at the availability of bottom sills. There are given results of laboratory researches meeting the natural conditions of dynamic, geometric similarity and non-scouring velocities. It is established that with Froude numbers reduction sediments volumes between barrages decrease. It is pointed out that the method of barrages building is more effective than alleviation washing out into the lower pool. There are listed measures of the problem complex solution of the hydraulic unit upper pool alleviation.

Sedimentation, upper pool, hydraulic unit, alluvium, barrages, dynamic similarity, geometric similarity, flow speed.