

ЗАЩИТА СООРУЖЕНИЙ ОТ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ

С.М.КАЛИЕВ

E.mail. ksucta@elcat.kg

Макалада суу агызуучу тармактардын нуктарынын жээлүү шарттары жана аларды болдурбоочу инженердик аракеттер берилген.

В статье изложены процессы и инженерные меры по защите водотранспортирующих каналов для борьбы с местными размывами.

In the article are given processes and engineering measures to control water transport canals washouts.

Конструктивные меры защиты сооружений от разрушения наряду с эксплуатационными (маневрирование затворами по специальным конструкциям, недопущение пропуска расхода, превышающего расчетный, и пр.) относятся к наиболее надежным методам борьбы с местными размывами /1, с. 47-53/.

В отдельных случаях предотвратить разрушение сооружения из-за местных размывов можно при помощи таких конструктивных мер, перед которыми не ставится задача гашения избытка кинетической энергии потока и перераспределения удельных расходов по ширине и глубине русла с целью уменьшения размывающей способности потока.

Например, Ш.А.Бабаджановой предложена конструкция гибкого гасителя, создающего условия для удаления воронки размыва от сооружения /2/.

Однако удлинение крепления приводит к дороговизне и является неприемлемым решением из-за сохранения высокой кинетичности потока на значительном расстоянии от сооружения.

Безопасность сооружения можно обеспечить при помощи недорогого крепления, длину которого в зависимости от глубины зуба можно определить по формуле проф. М.С.Вызго /30, с.130-136/.

$$l = C \left(\frac{t_{\max} - t}{t} \right) h = C \left(\frac{1,4h}{\Delta y + h} - 1 \right) h, \quad (1)$$

где C – коэффициент Шези; $t_{\max} = 1,4\sqrt{q\sqrt{z}}$ – глубина в месте размыва при отсутствии крепления; q – удельный расход, $\text{м}^2/\text{с}$; z – напор на сооружении; t – глубина в месте размыва за креплением; h – глубина потока в канале; y – глубина зуба; Δ – коэффициент, учитывающий разницу между глубиной зуба и глубиной воронки размыва.

Назначение каменной наброски, плит, шарнирно соединенных между собой, и устройств типа уральского пола сводится к предотвращению прогрессирующего размыва в сторону сооружения. Под целевыми водобойными полами при работе сооружения появляется валец с горизонтальной осью вращения, который способствует перемещению продуктов размыва в сторону сооружения /3, с. 150-154, 5, с. 210-215/.

Струенаправляющие носки-трамплины за консольными перепадами и уступы за плотинами, наряду с диссипацией энергии, предназначены для удаления воронки размыва от сооружения на безопасное расстояние /4, с. 150; 5, с. 210-215/.

Указанные меры защиты сооружений от местных размывов применимы не во всех случаях. Например, при большой глубине размыва необходимо устройство глубокого низового экрана, а при сопряжении бьефов участком со сбойным течением может происходить размыв боковых откосов русла за сооружением. Это явление может

усугубляться тем, что отмостка, образованная из продуктов размыва, располагается в русле несимметрично, и при этом живое сечение имеет неправильную форму. Размыв боковых откосов особенно опасен, если канал за сооружением проходит в насыпи или полувыемке и полунасыпи.

Поэтому во многих случаях экономически выгоднее более активное воздействие на поток за сооружением при помощи специальных гасителей энергии потока и растекателей, предназначенных для предотвращения местных размывов за креплением нижнего бьефа.

При сопряжении гидравлическим прыжком (плоская задача) может происходить размыв русла бурным потоком при отгоне прыжка и спокойным потоком – при расположении части или всего послепрыжкового участка за креплением нижнего бьефа сооружения. В этих обоих случаях основная цель, которая ставится перед энергогасящим устройством, сводится к предотвращению отгона прыжка. Гашение основной доли избытка кинетической энергии на массообмен происходит в самом прыжке. Например, потери энергии в вполне развитом прыжке достигают 85 % начальной энергии потока /6/.

Таким образом, в условиях плоской задачи (при сопряжении гидравлическим прыжком) гаситель энергии должен оказывать на поток в первую очередь реактивное воздействие. Плоская задача сопряжения бьефов исследована более полно, чем пространственная, и гасители энергии потока, предназначенные для затопления и предотвращения отгона прыжка, – водобойная стенка и водобойный колодец – стали классическими.

Гашение энергии потока при пространственной форме сопряжения (сбойном течении) более сложно, чем при плоском. Это объясняется тем, что при сопряжении сбойным течением наряду с гашением избытка кинетической энергии необходимо расширение потока в плане.

Исследователями уделено значительное внимание вопросу о гашении энергии пространственных потоков за сооружениями.

А.Н.Рахмановым и Е.А.Замариным /7, 8/ была предложена конструкция криволинейной плотины с центральным углом пролетов $6-8^{\circ}$, создающая благоприятные условия для расширения потока в нижнем бьефе.

Для предотвращения сбойного течения за трубчатыми сопрягающими сооружениями и шахтными перепадами В.А.Храпковским разработан балочный Г-образный гаситель. Недостатком этих гасителей является работа сооружения неполным фронтом.

Очень простое и эффективное устройство, расширяющее поток за щитовыми регуляторами, представляющее собой криволинейный затвор, предложено Л.А.Машковичем /9/. Криволинейный затвор, устанавливаемый вместо обычного плоского, представляет собой часть поверхности вертикального кругового цилиндра. Применение таких затворов в щитовых регуляторах, согласно исследованиям Л.А.Машковича, обеспечивает уменьшение необходимой длины крепления нижнего бьефа в 2-3 раза, но при этом необходимо учесть фактор увеличения местного размыва в несколько раз.

Ряд интересных исследований проведен по борьбе с местными размывами за трубчатыми регуляторами с напорными трубами. Такие сооружения отличаются от сооружений с безнапорными трубами и горизонтальным креплением нижнего бьефа тем, что работают при больших напорах (от 0,3 м до 1,5 м) и для предупреждения местных размывов за ними требуется как расширение потока в плане, так и значительное уменьшение его скоростей на выходе из труб. Поэтому за такими сооружениями обычно устраивают гасители коробчатого типа, подобные по конструкции и принципу действия водоразбивным колоннам. В этих гасителях энергии, в которых энергия потока понижается за счет снижения горизонтов воды в нижнем бьефе, работа сооружения выполняется неполным фронтом. Эти гасители не обеспечивают в достаточной степени

эффективного гашения энергии потока, что сопровождается размывом и увеличением расходов на ремонт сооружения.

На подобном принципе работает гаситель-растекатель, предложенный Н.А.Канавиным и М.Б.Селяметовой, представляющий собой корытообразный корпус с сечением, очерченным по логарифмической спирали, в центре которого расположен цилиндр для образования водяной подушки, гасящей энергию потока /10/.

За многопролетными регулирующими сооружениями на каналах для перераспределения удельных расходов по ширине русла применяют прямолинейные и криволинейные в плане водобойные стенки, устройства, возбуждающие поперечную циркуляцию потока, а также различные комбинированные гасители, описанные разными авторами в работах, рассмотренных ниже.

Н.А.Вознесенским разработано несколько конструкций гасителей и растекателей, работа которых основана на принципе создания искусственной поперечной циркуляции /11/.

Комбинированное гасительное устройство для двухочкового трубчатого сооружения с перепадом на выходе из труб предложено Н.Т. Кавешниковым. Устройство состоит из рассеивающего порога трапецидальной формы, устанавливаемого на участке падения дна, и водобойной стенки.

Обширные исследования проведены проф. Н.П.Розановым, Н.Е.Лысенко, В.Д.Бедевым, А.Т.Кавешниковым /12, с. 434; 53, с. 137/ и др. по установлению условий кавитационного износа гасителей. На основе этих исследований введено понятие о «суперкавитации» и предложено применение в конструкциях гасителей суперкавитирующих элементов, уменьшающих кавитационный нанос последних.

На основе экспериментов, проведенных в лабораториях ВНИИГ им. Б.Е.Веденева, проф. Ф.Г.Гулько /13/ пришел к выводу о том, что за водосливными плотинами низкого и среднего напоров наиболее целесообразно применение трех типов гасителей: прорезной водобойной стенки, сплошной водобойной стенки и гасителя-растекателя (рис.1).

Отношение ширины пирсов к ширине прорезной водобойной стенки рекомендуется принимать равным 3,43, а отношение ширины выступа к высоте стенки – равным 142,4 /13/.

И.И.Науменко /14/ на основе своих исследований считает, что при степени сжатия потока сооружением $\beta = V_p/V_c$ (3 наилучших результата получают при отношении ширины пирсов к ширине прорезей, равном 1,342 и отношении ширины пирса к его высоте, равном 0,54-0,75) при условии, что стенка установлена на расстоянии $l < 3h_0$ (h_0 – вторая сопряженная глубина прыжка) от сжатого сечения, последнюю можно рассматривать как водослив, для

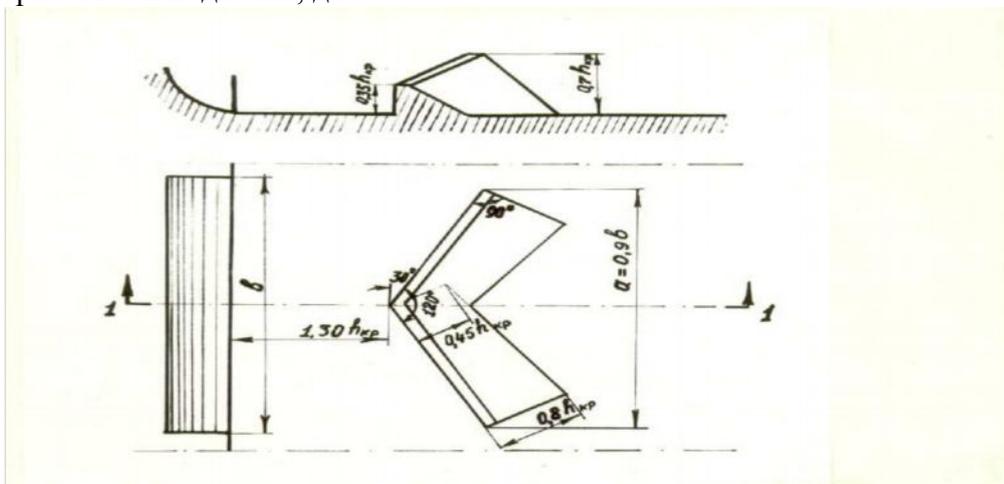


Рис. 1. Гаситель-растекатель ВНИИГ

которого коэффициент расхода и коэффициент подтопления можно определить

$$m_0 = 0,45 + 0,083 \frac{H}{h}, \quad (2)$$

$$\sigma = 0,30 + 0,68 \sqrt{1 - \left(\frac{h_n}{H}\right)^2}, \quad (3)$$

где H – напор над водосливом; h_n – глубина подтопления водослива.

Г.А.Лилицкий считает, что при сопряжении бьефов сбойным течением возникает необходимость устройства гасителя типа водобойной стенки /14/.

Для сооружений с сопряжением бьефов участком со сбойным течением Г.А.Лилицкий предлагает комбинированный гаситель-растекатель, состоящий из водобойной стенки и водобойного колодца (рис. 2).

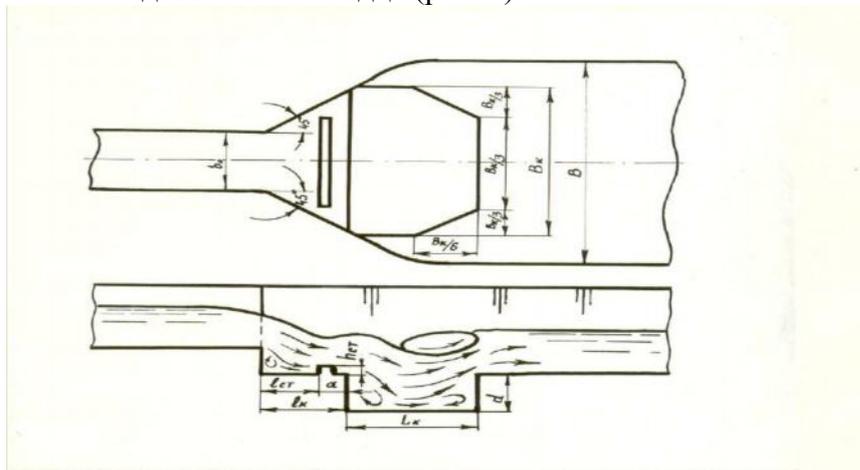


Рис.2. Комбинированные гасители А.Г.Лилицкого

Расстояние от выходного сечения до стенки рекомендуется определять по формуле

$$l_{cm} = 1,2b_0 Fr_0^{1/3}, \quad (4)$$

где b_0 – ширина выходного сечения; $Fr_0^{1/3}$ – критерий Фруда в выходном сечении.

Высоту стенки можно определять по формуле

$$h_{ст} = h_{c0} - t - \Delta z, \quad (5)$$

где h_{c0} – вторая сопряженная глубина прыжка в колодце; t – бытовая глубина в канале; Δz – перепад на выходе из колодца.

Как в условиях плоской задачи, так и при пространственном сопряжении потоков, наряду с гашением избытка кинетической энергии потока и перераспределением удельных расходов по ширине русла, большое значение для предотвращения местных размывов и сокращения длины крепления имеет перераспределение удельных расходов по глубине потока, т.е. уменьшение скоростей у дна русла. Если за гасителем энергии потока скорости у дна русла и у боковых откосов больше, чем в центре потока или на поверхности его, то могут происходить местные размывы несмотря на распределение удельных расходов по ширине и глубине русла, близкое к равномерному.

Для определения длины крепления нижнего бьефа, при которой не происходит размыв русла, проф. М.С.Вызго предложил зависимость /15, с. 130-136/:

$$l_{\max} = \frac{0,4}{n_{кр}} h_2^{1,2},$$

(6)

где h_2 – глубина потока; $0,4/n_{кр}$ – величина, зависящая от шероховатости поверхности крепления.

Из этих данных видно, какое большое значение имеет искусственная шероховатость для перераспределения скоростей по глубине и гашения энергии потока.

При гашении энергии потока в прыжке немаловажное значение имеет уменьшение длины прыжка, в частности, послепрыжкового участка. На длину прыжка в значительной мере оказывает влияние шероховатость поверхности водотока. Под руководством проф. М.С.Вызго Ю.М.Кузминовым, К.А.Сулейменовым, Б.Г.Маллаевым /15, с. 130-136; 69/ были проведены исследования, показывающие, что с увеличением шероховатости поверхности крепления длина прыжка уменьшается. Ими установлено, что при $\delta/h_{0гл} \approx 0,00540,01$ (δ – высота гасителя-ребра, $h_{0гл}$ – вторая сопряженная глубина в гладком русле) длину прыжка можно принимать равной $l_{ш}=(0,5540,56)l_{гл}$ ($l_{гл}$ – длина прыжка в гладком русле). Шаг между гасителями в виде ребер шероховатости рекомендуется принимать равным $S=(648)\delta$.

Н.Н.Суровой для перераспределения скоростей по глубине за гасителями предлагается применение ребер шероховатости высотой $0,1h_2$, расстояние между которыми равно глубине в отводящем русле $h_2/15$, с. 130-136/.

Исследованию искусственной шероховатости в лотках-быстротоках посвящен ряд работ Е.А.Замарина /7, с. 412/, М.Б.Селяметова /16, с. 85-89/ и др., показывающих, что искусственная шероховатость обеспечивает рассеивание энергии потока и увеличение его глубины.

Рассмотрим следующие научно-исследовательские работы, посвященные конструктивным мерам защиты сооружений от местных размывов.

В работе /17/ рассматривается гашение энергии за низконапорными трехпролетными сооружениями. Исследования конструкций гасящих устройств производились на экспериментальной установке, обеспечивающей значения чисел Рейнольдса в нижнем бьефе от 4000 до 31000 и чисел Фруда в сжатом сечении 50-140. Исследовалась модель низконапорного трехпролетного водосбросного сооружения со следующими параметрами: масштаб модели 1:36, максимальный расход при трёх полностью открытых пролетах 13 л/с (в натуре 101,1 м³/с); глубина в отводящем канале 2-6 м. Удельные расходы изменялись от 0,01 до 0,03 м²/с. Опыты сопровождалось определением высоты гидравлического прыжка и оценкой его расположения в плане. Исследования показали, что даже при всех полностью открытых пролетах водосброса на гладком водобое наблюдался сбой потока независимо от глубины нижнего бьефа. Недостатком работы является взаимосвязь полученных данных на экспериментальной установке и натурной модели низконапорного трехпролетного водосбросного сооружения по вопросу влияния потока на трехпролетный регулятор, приводящего к размыву нижнего крепления сооружений.

В патенте /18/ Российской Федерации № 2016164 приведено устройство для гашения энергии потока воды в нижнем бьефе водопропускных сооружений. Конструкция для активного гашения энергии потока в нижнем бьефе водопропускных сооружений, основана на введении в поток различных механических препятствий, состоящих из расположенных в определенном порядке водобойных стенок, сплошных и прорезанных пирсов, свай, шашек и т.п. Все эти энергогасящие устройства обладают реактивным диссипативным и распределительным воздействием на поток. Использование этих гасителей позволяет сократить длину участка сопряжения и длину крепления в нижнем бьефе, а также стоимость сооружения в целом.

К недостаткам этих гасителей следует отнести следующее: при изменении условий работы ГТС, а именно увеличении расхода сверх проектного происходит снижение горизонтов воды в нижнем бьефе, работа сооружения идет неполным фронтом, эти устройства не обеспечивают в достаточной степени эффективного гашения энергии потока, что сопровождается размывом и увеличением расходов на ремонт сооружения.

Таким образом, результаты исследований конструктивных мер защиты сооружений от местных размывов позволят более полно раскрыть особенности местного размыва за шлюзами-регуляторами, правильно выбирать длину крепления нижнего бьефа и разрабатывать специальные конструктивные устройства, защищающие гидросооружения от разрушений.

Явление сбойного течения за водорегулирующими сооружениями изучено недостаточно полно. Нет исчерпывающих данных о длине участка сопряжения со сбойным течением. Слабо изучено как само явление местного размыва русла при сбойном течении, так и влияние глубины потока в отводящем русле на размеры воронки размыва.

Список литературы

1. Лавров Н.П., Костина А.С., Ерофеев А.П., Олейников М.С. Состав и методика экспериментальных исследований входной и концевой части поверхностного водосброса // Вестник КРСУ. – 2005. – № 9.
2. Грицан В.В. Гашение энергии за низконапорными трехпролетными сооружениями // Московский государственный университет природообустройства. – М., 2008. – С.301-304.
3. Вызго М.С. Эксплуатационные мероприятия, прогнозы и способы уменьшения местных размывов за гидротехническими сооружениями. – Ташкент: Наука, 1976. – С.150-154.
4. Лавров Н.П. Гидротехнические сооружения для малых ГЭС: Учебное пособие. – Бишкек: КРСУ, 2001. – 150 с.
5. Вознесенский Н.А. Донные струенаправляющие устройства на оросительных каналах. – М.: Колос, 1977. – С.90-94.
6. Патент Российской Федерации № 2016164. Гаситель энергии водного потока // ВНИИ гидротехники и мелиорации им.А.Н.Костякова; Лебедев Н.В., Проданов В.Ф., Шукаловская М.Г., Торгашов В.Ф. – М., 1994. – 4 с.
7. Замарин Е.А., Фандеев В.В. Гидротехнические сооружения. – М.: Гос. изд-во сельхозлитературы, 1990. – 412 с.
8. Базилевич В.А., Алиев Э.Д., Мариупольский А.Л. Опыт эксплуатации типовых трубчатых сооружений на оросительных системах // Гидротехника и мелиорация. – 1973. – № 6; Межведомственный Республиканский научно-технический: сб. «Гидравлика». – Киев, 1976. – Вып. 2. – С.140-144.
9. Березинский А.Р., Соколова В.Ф., Алипов В.В. Применение сборного железобетона в гидротехнических сооружениях. – М.: Госстройиздат, 1989. – 220с.
10. Васильев О.Ф., Лятхер В.М. Гидравлика // Механика в СССР за 50 лет: Сборник. – М.: Наука, 1970. – Т. 2. – С.150-154.
11. Вызго М.С. Влияние шероховатости дна на длину поверхности водоворота донного гидравлического прыжка // Доклады АН УзССР. – 1982. – Вып. 12. – С.140-144.
12. Розанов Н.П., Бочкарев Я.В., Лапшенков В.С., Журавлев Г.И., Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 432 с.
13. Волков И.М., Кононенко П.Ф., Федечкин И.К. Гидротехнические сооружения. – М.: Колос, 1986. – 320 с.
14. Гончаров В.Н. Динамика русловых потоков. – М.: Гидрометеоздат, 1972. – 150 с.

15. Вызго М.С. Исследования местных размывов в спокойных потоках // Режим и освоения водных объектов. – М.: АН СССР, 1972. – С.15-19.
16. Бабаджанова Ш.А. Местный размыв за сооружениями на каналах (с горизонтальным креплением): Автореф. ... к.т.н. – Ташкент, 1972. – 32 с.
17. Даденков Ю.Н., Зубрий П.Е. Гидравлические расчеты открытых русел. – Киев: Госстройиздат УССР, 1971. – 200 с.
18. Дмитриев В.С. Некоторые общесоюзные проблемы мелиорации земель // Гидротехника и гидромелиорация. – 1972. – № 12. – С. 201-205.