

5. Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений. – М.: ОГИЗ – Сельхозгиз, 1948. – 753 с.

6. Кловский А. В. Результаты исследований гидравлических условий работы фронтальных донных циркуляционных порогов. // Международный научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 77–83.

7. Румянцев И. С., Кловский А. В. Результаты исследований скоростного режима защитных винтовых течений в створе фронтальных донных порогов.

// Приволжский научный журнал. – 2014. – № 2. – С. 96–100.

8. Снежко В. Л. Гидродинамическое регулирование расхода низконапорных водопропускных гидротехнических сооружений: дис. ... д-ра техн. наук. – М.: ФГБОУ ВПО МГУП, 2012. – 365 с.

Материал поступил в редакцию 02.06.14.

*Кловский Алексей Викторович, аспирант*

*Тел. 8-903-541-07-85*

*E-mail: Alexey.Klovskiy@yandex.ru*

УДК 502/504:627.5:532.57

## И. С. РУМЯНЦЕВ, ЖАН КЛОД МВУЙЕКУРЕ

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

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГАСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ ЗА КОНЦЕВЫМИ ЧАСТЯМИ ТРУБЧАТЫХ ВОДОВЫПУСКОВ

*Рассмотрены задачи применения гасителей энергии ударного действия в нижнем бьефе за концевыми частями трубчатых водовыпусков, а также приведены результаты лабораторных исследований гидравлических условий работы гасителей данного типа.*

*Гасители энергии ударного действия, трубчатые водовыпуски, местный размыв.*

*Problems of application of shock-action energy absorbers in the downstream tubular outlets are considered, and also results of laboratory hydraulic researches of this type.*

*Shock-action energy absorbers, tubular outlets, local erosion.*

В практике современного гидротехнического строительства для крепления нижнего бьефа и обеспечения безопасного и надежного в эксплуатационном отношении отвода сбрасываемого потока в канал или в русло реки применяют различные гасители энергии. Наиболее распространены из них следующие: водобойный колодец, образованный уступом за счет углубления дна флютбета; водобойный колодец, созданный водобойной стенкой; комбинированный водобойный колодец; водобойная плита, оборудованная гасителями, зубчатymi и прорезными порогами, растекателями; гасители ударного действия.

Применение гасителей последнего

типа является одним из наиболее эффективных и надежных методов в борьбе с образованием местных размывов грунта за сооружениями в тех случаях, когда в нижнем бьефе имеет место дефицит глубин для обеспечения гашения избыточной энергии. Подобные устройства нижнего бьефа еще недостаточно изучены, их конструкции продолжают совершенствоваться [1]. Они получили широкое распространение на гидроузлах США и Канады. Конструкция такого крепления с системой гасителей ударного действия была разработана в свое время Бюро мелиорации США. При создании этой конструкции был обобщен большой экспериментальный и натурный

материал. В Московском гидромелиоративном институте (МГМИ) гасители ударного действия впервые были изучены в 1990 году Е. Ф. Петровым (исследованиями руководил И. С. Румянцев [2]). На основании результатов комплексных модельных лабораторных гидравлических исследований была создана новая рациональная конструкция концевой гасителя ударного действия для трубчатых водопропускных сооружений, а также разработана методика ее расчетного обоснования и проектирования. Проведенные исследования позволили оптимизировать размеры этой конструкции [2]. В 1993 году Мосбах Абдельхалим под руководством И. С. Румянцева продолжил исследования гасителей ударного действия [3]. На основании результатов комплексных гидравлических исследований были разработаны конструктивные мероприятия и методы расчетного обоснования многосекционных гасителей ударного действия, а также выполнены исследования переформирований dna отводящего канала за трехсекционным гасителем ударного действия в условиях симметричных и несимметричных сбросов, составлены рекомендации по проектированию рассматриваемых гасителей [3]. Проведенный авторами статьи анализ гидравлических условий работы гасителей ударного действия за концевыми частями трубчатых водовыпусков показал, что основными достоинствами рассматриваемых конструкций являются следующие: простота конструкции, эффективное гашение избыточной кинетической энергии потока, уменьшение размывов в нижнем бьефе сооружения. Основной недостаток – относительная сложность их устройства.

В выполненной работе Мосбахом отмечено, что кинематическая структура потока при выходе на рисберму за трехсекционными гасителями недостаточно исследована, а существующие методики проектирования последних требуют уточнения. Авторами принято решение о недостаточном исследовании гидравлических условий работы гасителей ударного действия, а также о необходимости изучения вопросов борьбы с образованием местных размывов. Чтобы решить эти задачи, необходимо оптимизировать конструкцию многосекционного гасителя ударного действия, для чего требуется уточнить геометрические размеры такого гасителя, используя формулы, рекомендованные

И. С. Румянцевым и Е. Ф. Петровым:  $l = 1,333 B$ ;  $h = 0,750 B$ ;  $a = 0,333 B$ ;  $c = 0,375 B$ ;  $d = 0,167 B$ ;  $e = 0,100 B$ ;  $f = 0,500 B$ ;  $P_1 = 0,125 B$ ;  $P_2 = 0,042 B$ ;  $P_3 = 0,083 B$ ;  $S_1 = 0,418 B$ ;  $S_2 = (0,080...0,090) B$ ;  $S_3 = (0,045...0,053) B$  ( $B$  – ширина гасителя). Комплексная лабораторная модель была выполнена в масштабе 1:20.

Одно из основных направлений лабораторных исследований – изучение кинематической структуры потока за многосекционным гасителем ударного действия при различных гидравлических экспериментальных режимах.

Разработанная методика лабораторных исследований имела следующие особенности.

Для измерения скоростей течения авторы использовали методику Н. М. Щапова. При площади живого сечения потока  $0,852 \text{ м}^2$  замер скоростей проводился в 5 вертикалях и 5 горизонталях, всего в 25 точках. Расстояние между соседними вертикалями  $l_v = B/5 \text{ м}$ .

Время замера в точке составляло 60 с и определилось с помощью секундомера. Для замера скоростей была использована микровертушка, для измерения глубин воды в канале и в воронке местного размыва – шпитценмасштаб. Температуру воды измеряли ртутным термометром, средняя температура составила  $8 \text{ }^\circ\text{C}$ . В проведенных опытах использовали как визуальные методы, так и фотографирование. Каждый расчетный расход пропускали через сооружение с различными глубинами в нижнем бьефе при различных режимах сопряжения. Величины расходов регулировали задвижками на подводящих трубах диаметром  $D = 53 \text{ мм}$  и измеряли с помощью водослива трапецеидального типа (водослив Чиполетти) с  $\text{tg } \alpha = 0,25$ , используя формулу  $Q = 1,86bh^{3/2}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  ( $b$  – ширина водослива по дну,  $h$  – глубина наполнения водослива) [4]. Стабилизации гидравлических режимов на экспериментальной установке достигали в течение 15 мин. При изучении местных размывов размываемый грунт заранее (в течение суток) промывали водой и в начале опыта, до стабилизации режима, прикрывали оргстеклом толщиной 3 мм, которое затем осторожно убрали сразу со всей рабочей поверхности канала и на протяжении 45 мин осуществляли пропуск заданного расхода, для того чтобы затем посмотреть, как сформировалась воронка местного размыва.

При работе многосекционного гасителя были рассмотрены пять случаев маневрирования затворами:

когда расход подается одной крайней секцией,

когда расход подается двумя соседними секциями,

когда расход подается двумя крайними секциями,

когда расход подается одной центральной секцией,

когда работают все три секции одновременно.

Во всех пяти случаях в нижнем бьефе устанавливались три различные глубины: 4, 6 и 9 см и девять различных расходов: 2,4; 3,25; 4,32; 5; 5,85; 6,56; 8,89; 9; 13,67 л/с. На основании полученных данных были построены безразмерные графики, характеризующие кинематическую структуру потока при различных режимах маневрирования затворами на трубопроводах, в виде  $\tilde{v}/v_{\max} = f(X/L, h_{н.б.}/D)$  (рис. 1), где  $\tilde{v}$  – усредненная скорость;  $v_{\max}$  – максимальная скорость в гидростворе (в вертикале),  $X/L$  – относительная продольная координата;  $h_{н.б.}/D$  – относительное наполнение нижнего бьефа. Также на рис. 2 аналогично представлен безразмерный график по результатам обработки данных по придонным скоростям:  $v_{\text{дон}}/v_{\max} = f(X/L, h_{н.б.}/D)$ , где  $v_{\text{дон}}$  – придонная скорость.

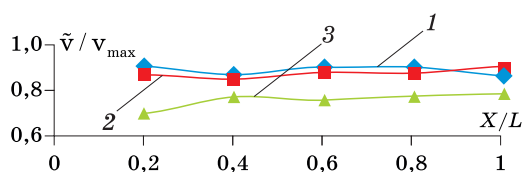


Рис. 1. Влияние относительных глубин  $h_{н.б.}/D$  на кинематическую структуру потока в нижнем бьефе: 1 –  $h_{н.б.}/D = 0,75$ ; 2 –  $h_{н.б.}/D = 1,13$ ; 3 –  $h_{н.б.}/D = 1,70$

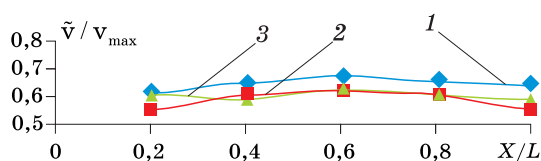


Рис. 2. Изменение донных скоростей по длине потока в нижнем бьефе за гасителем ударного действия: 1 –  $h_{н.б.}/D = 0,75$ ; 2 –  $h_{н.б.}/D = 1,13$ ; 3 –  $h_{н.б.}/D = 1,70$

По результатам исследований построены плановые эпюры скоростей в указанных створах. При построении эпюр применено условие экстраполяции скоростной эпюры до стенки по закону корня 7-й степени:

$$v_x = vX^{1/7},$$

где  $X$  – расстояние от стенки до любой точки, выраженное в долях расстояния от стенки до первой точки замера;  $v$  – скорость в первой точке замера;  $v_x$  – скорость в любой точке  $X$  [5].

Все эти графики могут быть использованы для прогнозирования параметров течения потока в нижнем бьефе многосекционного гасителя при различных режимах гидравлических условий его работы. В связи с обработками полученных лабораторных данных в целях их уточнения найдены значения коэффициентов кинетической энергии (коэффициентов Кориолиса)  $\alpha$ . Как известно, коэффициент кинетической энергии (коэффициент Кориолиса)  $\alpha$  представляет собой отношение действительной кинетической энергии потока, протекающего через рассматриваемое живое сечение  $E_{\text{ист}}^k$ , к средней кинетической энергии  $E_{\text{ср}}^k$  на мерной вертикали. Для определения  $\alpha$  рассмотрели плановую эпюру усредненных скоростей, которая разбивалась на элементарные площадки  $\Delta\omega_i$ , далее определили средние скорости в пределах каждой из них (рис. 3). Для каждого поперечного гидроствора

$$\alpha = \sum_{i=1}^i u_i^3 \Delta\omega_i / \omega v^3,$$

где  $\omega = B = 1\text{ см}$  и  $B = 71\text{ см}$  – ширина потока в нижнем бьефе;  $v = \Omega/B$ , где  $\Omega$  – площадь эпюры скоростей в плане, которую определяли так:

$$\Omega = \sum_{i=1}^i \Delta\omega_i \quad (\text{см. рис. 6}); u_i - \text{значение местных усредненных скоростей в центре каждой из площади.}$$

Площадь поперечного сечения потока на  $i$ -й мерной вертикали определяли по следующей формуле:

$$\omega_i = \sum_{j=1}^j \Delta\omega_{ij},$$

где  $\Delta\omega_{ij}$  – площадь поперечного сечения  $j$ -й элементарной площадки усреднения скорости на  $i$ -й мерной вертикали:  $\Delta\omega_{ij} = l_i \cdot y_{v,i}$ , где  $l_i$  – расстояния между  $i$ -ми соседними вертикалями;  $y_{v,i}$  – высота элементарной площадки усреднения скорости на мерной вертикали (см. рис. 3).

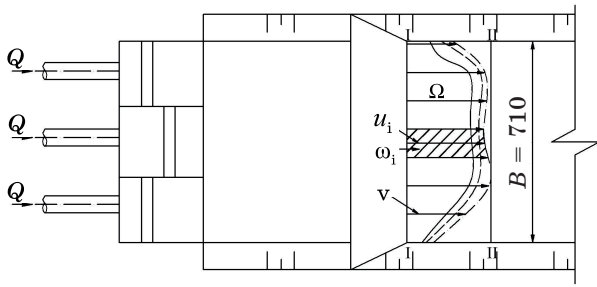


Рис. 3. Схема к определению коэффициентов кинетической энергии  $\alpha$  в нижнем бьефе гасителя ударного действия

По полученным данным был построен график изменения коэффициентов кинетической энергии  $\alpha$  при различных режимах пропуска расхода (рис. 4). При работе всех трех секций гасителя оказалось, что кривые  $\alpha = f(X/L)$  сходятся к горизонтальной линии с  $\alpha = 1$ .

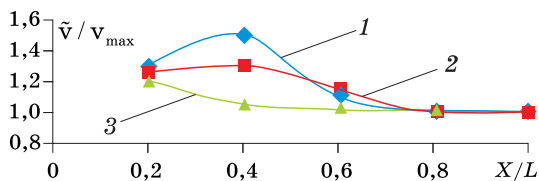


Рис. 4. График изменения коэффициентов кинетической энергии  $\alpha = f(X/L)$  в нижнем бьефе гасителя ударного действия: 1 -  $h_{н.б.}/D = 0,75$ ; 2 -  $h_{н.б.}/D = 1,13$ ; 3 -  $h_{н.б.}/D = 1,70$

Опираясь на результаты проведенных исследований, авторы перешли к проблеме формирования местных размывов за конструкцией многосекционного гасителя ударного действия. При этом в качестве основы был построен график влияния донных скоростей на глубину воронки местного размыва:

$$h_p/h_{pmax} = f(v_{дон}/v_{max}, h_{н.б.}/D) \text{ (рис. 5),}$$

где  $h_{pmax}$  - максимальное значение глубины воронки местного размыва (известно, что для достижения устойчивого гидравлического режима работы нижних бьефов трубчатых водовыпускных сооружений необходимо обеспечить равномерное плановое движение потока за гасителем, что позволяет снизить опасность возникновения существенных размывов и избежать потери плановой устойчивости потока).

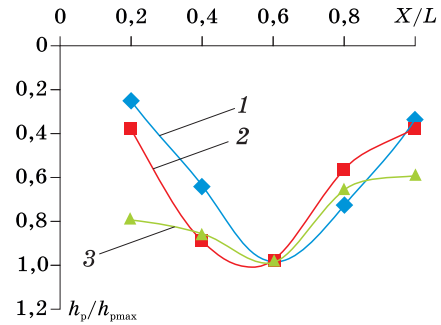


Рис. 5. Влияние донных скоростей на глубину воронки местного размыва в нижнем бьефе гасителя ударного действия: 1 -  $h_{н.б.}/D = 0,75$ ; 2 -  $h_{н.б.}/D = 1,13$ ; 3 -  $h_{н.б.}/D = 1,70$

### Выводы

Выполненные исследования показывают, что максимальные значения скоростей на выходе потока из работающей секции имеют место на ее оси. Затем по ширине нижнего бьефа начинается постепенное плановое растекание потока, и максимальные скорости постепенно приближаются ближе к оси отводящего русла.

Построение графиков и эпюр показало, что характер распределения скоростей во всех исследованных случаях аналогичен. При увеличении глубины в нижнем бьефе во всех случаях максимальные значения усредненных и донных скоростей снижаются, что приводит к переформированию кинематической структуры потока с изменением гидравлического режима от донного к поверхностному.

Наблюдалась достаточно несимметричная картина расположения свободной поверхности потока на поперечных створах относительно продольной оси канала при пропуске максимальных расходов.

При работе всех трех секций гасителя кривые  $\alpha = f(X/L)$  при значениях  $X/L \geq 0,8$  сходятся к горизонтальной линии ( $\alpha = 1$ ).

Глубина воронки размыва имеет большое значение с точки зрения обеспечения устойчивости сооружения. Данное обстоятельство требует проведения дополнительных лабораторных исследований с точки зрения улучшения гидравлических условий работы нижних бьефов рассматриваемых сооружений.

1. Гидротехнические сооружения; под ред Н. П. Розанова. - М.: Агропромиздат,

1985. – 432 с.

2. **Петров Е. Ф.** Гаситель энергии ударного действия в концевых частях трубчатых водопропускных сооружений: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07. – М.: МГУП, 1990. – 241 с.

3. **Мосбах Абдельхалим.** Совершенство конструкций и метод расчетов концевых частей трубчатых водопропускных сооружений с многосекционными гасителями ударного действия: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.07. – М.: МГУП, 1993. – 159 с.

4. **Леви И. И.** Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических

сооружений. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1979. – 265 с.

5. **Щапов Н. М.** Гидрометрия гидротехнических сооружений и гидромашин. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 23 с.

Материал поступил в редакцию 17.06.14.

**Румянцев Игорь Семенович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидротехнические сооружения»  
Тел. 8 (499) 976-24-60

E-mail: [rumyantsev.rumi@yandex.ru](mailto:rumyantsev.rumi@yandex.ru)

**Мвуйекуре Жан Клод**, аспирант

Тел. 8 (916) 858-24-13

E-mail: [mvuyek@mail.ru](mailto:mvuyek@mail.ru)

УДК 502/504:627.8:69.05

## О. Н. ЧЕРНЫХ, В. И. ВОЛКОВ, М. А. САБИТОВ

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

## В. И. АЛТУНИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

# О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ ОЦЕНКИ РАЗМЕРА ВЕРОЯТНОГО ВРЕДА В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

*Рассматриваются особенности установления размера вероятного вреда при возможном разрушении гидротехнических сооружений низконапорных гидроузлов Москвы. Отмечены сложности, возникающие при недостатке достоверных фактических данных при оценке зоны затопления за нижними прудами каскада в мегаполисе.*

*Безопасность гидротехнических сооружений, сценарий аварии, размер вероятного вреда, каскад прудов, прорыв плотины, водосброс, зона затопления.*

*Examination of the peculiarities of the establishment of the extent of probable damage in consequence of the possible destruction of low-pressure hydraulic structures of hydraulic complexes of Moscow. Noted difficulties arising from the lack of reliable evidence when assessing the flood zone for the bottom ponds cascade in the city.*

*Safety of hydraulic structures, accident scenario, the size of the probable damage, a cascade of ponds, dam brake, spillway, flooding zone.*

Федеральный закон «О безопасности гидротехнических сооружений» обязывает собственника или эксплуатирующую организацию «создавать финансовые и материальные резервы, предназначенные для ликвидации аварии гидротехнического сооружения» [1]. Основные требования к определению вероятного вреда от ава-

рии содержатся в ряде основополагающих документов [1–4]. Величина финансового обеспечения ответственности определяется исходя из оцененного размера максимального вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехни-