

УДК 502/504:627.8.07:532.5430

ЖАН КЛОД МВУЙЕКУРЕ

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

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАБОТЫ КОНЦЕВЫХ УЧАСТКОВ ВОДОВЫПУСКОВ, ОБОРУДОВАННЫХ ГАСИТЕЛЯМИ УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

Рассмотрены особенности конструктивного оформления рисберм, устраиваемых вслед за гасителями ударного действия водовыпусков в каналы.

Элементы шероховатости, зубья Ребока, гаситель ударного действия.

The peculiarities of the constructive design of aprons arranged after impact absorbers of water outlets into channels are considered.

Elements of roughness, Rehbock sill, impact absorber.

Основная задача выполненных автором исследований заключалась в экспериментальном изучении гидравлических условий работы концевых частей водовыпусков в каналы, имеющих в своем составе гаситель ударного действия. Такие сооружения нашли применение в тех случаях, когда нижний бьеф водовыпуска продолжительное время работает в режиме наличия малых глубин в канале, а иногда вообще на практически «сухое» русло последнего. Особенности практического использования водовыпусков с гасителями ударного действия, несмотря на их широкое распространение в регионах с засушливым климатом и малой водностью, изучены недостаточно.

Упомянутые водовыпуски получили широкое распространение на каналах, получающих свое питание от ряда гидроузлов США. Впервые они были исследованы в университете штата Колорадо в 1970 году. Конструктивно применяемые в составе этих водовыпусков гасители ударного действия представляли собой камеру с г-образной горизонтальной балкой, которая воспринимала ударное действие струи, выходящей из трубчатого водовода, и способствовала тем самым эффективно гашению избыточной энергии потока. Исследования, осуществленные в рамках работ [1, 2], позволили установить, что используемые балочные гасители ударного действия инициируют возникновение гидравлического прыжка. Проведенные ис-

пытания ряда различных конструктивных камер гасителей ударного действия с различными вариантами их конфигураций и размеров позволили определить значения величин сопротивления последних, а также коэффициентов шероховатостей, создаваемых элементами искусственной шероховатости. Равным образом изучались значения коэффициентов лобового сопротивления камер гасителя [2].

Анализ работы [2] показал следующее:

высота элементов искусственной шероховатости в нижнем бьефе гасителя должна составлять от 0,31 до 0,91 от средней глубины потока;

отношение между осевым расстоянием элементов искусственной шероховатости и их высотой должно составлять $L/h = 6...12$;

основными достоинствами рассматриваемой конструкции гасителя ударного действия, оснащенной на рисберме дополнительными гасителями, являются простота конструкции, максимальное значение коэффициента лобового сопротивления C_d , эффективное гашение избыточной кинетической энергии потока, рациональная конструкция крепления, уменьшение размывов за концом крепления.

Вместе с тем, стало ясно, что конструкция водовыпуска нуждается в совершенствовании и устранении ряда ее недостатков, в более глубоком изучении специфики кинематической структуры

потока как в самом сооружении, так и в его нижнем бьефе. Автором было принято решение о продолжении исследований как гидравлических условий работы нижнего бьефа, так и переформирований дна канала ниже водовыпуска.

Для решения этих задач было запроектировано расположить элементы шероховатости в шахматном порядке на рисберме за трехсекционным гасителем,

а также добавить зубья Ребока на краю рисбермы (рис. 1). Одним из основных направлений лабораторных исследований являлось изучение кинематической структуры потока за многосекционным гасителем ударного действия с использованием элементов искусственной шероховатости и зубьев Ребока, расположенных на рисберме, при различных пропускаемых расходах.

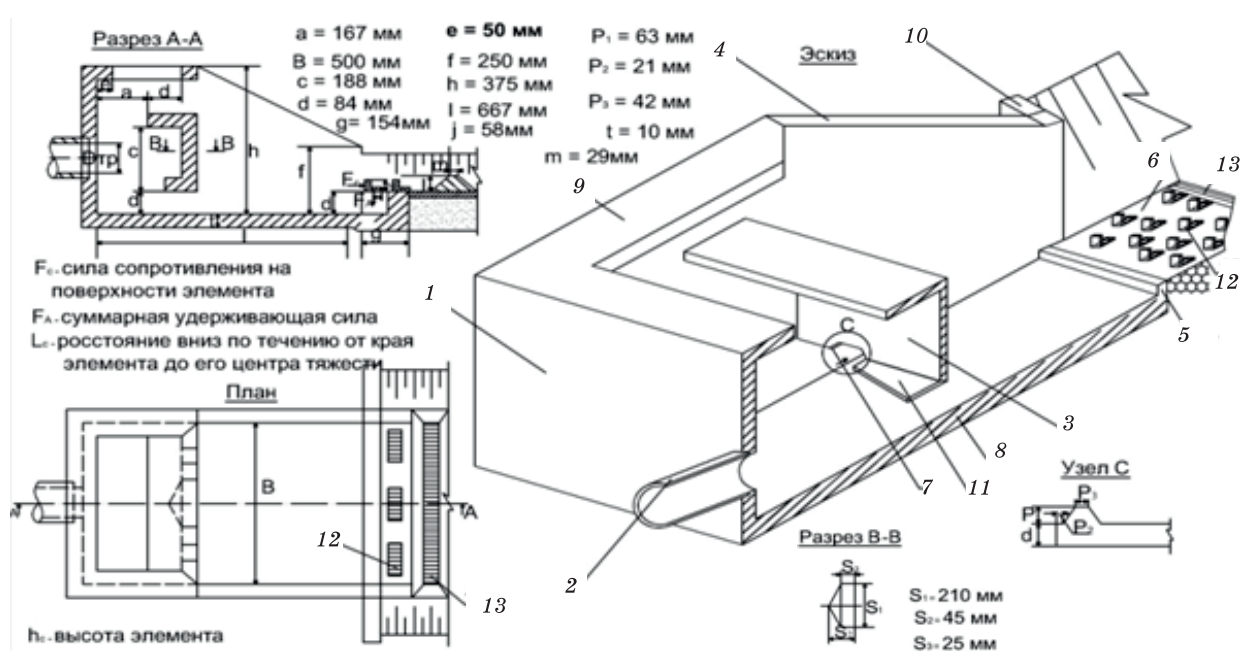


Рис. 1. Многосекционный гаситель ударного действия с элементами шероховатости на рисберме и зубья Ребока: 1 – торцовая стенка; 2 – труба, 3 – забральная балка, 4 – боковая стенка, 5 – концевой порог, 6 – отводящий канал, 7 – вырез, 8 – дно камеры, 9 – образный козырек, 10 – открылок, 11 – нижний козырек, 12 – элементы шероховатости, 13 – зубья Ребока

Разработанная методика лабораторных исследований имела следующие особенности.

Элементы искусственной шероховатости были закреплены достаточно прочно для того, чтобы выдержать силы сопротивления. Было составлено уравнение гидродинамического сопротивления:

$$F_c = C_d A_F \rho v_a^2 / 2,$$

где максимальный коэффициент лобового сопротивления C_d для структурных угловых элементов или прямоугольных блоков был равен 1,98 (для жидкости с плотностью 1000 кг/м³, силой сопротивления $F_c = 990 A_F v_a^2$).

Усилие можно предположить действующим в центре элемента искусственной шероховатости. Удерживающая сила, препятствующая опрокидыванию преграды, была вычислена следующим

образом:

$$F_A = h F_c / 2 L_c = 495 (h / L_c) A_F v_a^2,$$

где F_A – суммарная удерживающая сила; F_c – сила сопротивления на поверхности элемента; h – высота элемента; L_c – расстояние вниз по течению от края гасителя до его центра тяжести; A_F – площадь поверхности элемента, непосредственно взаимодействующая с потоком, м²; v_a – скорость подхода потока к элементу искусственной шероховатости, м/с.

Для измерения скоростей течения использовалась методика Н. М. Щаплова. При площади живого сечения потока 0,852 м² замер скоростей проводился в 5 вертикалях и 5 горизонталях, всего в 25 точках (рис. 2). Расстояние между соседними вертикалями $l_v = B/5$, м, где B – ширина гасителя энергии. Время замера в точке составляло 60 с и определилось с помощью секундомера. Для замера

скоростей была использована микровертушка, а для измерения глубин воды в канале и в воронке местного размыва – шпитцен-масштаб. Температуру воды измеряли ртутным термометром, средняя температура составила $t = 8 \text{ }^\circ\text{C}$. В проведенных опытах использовались как визуальные методы, так и фотографирование. Каждый расчетный расход пропускался 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 $Q = 1,86bh^{3/2}$ (b – ширина водослива по дну, h – глубина наполнения водослива) [2]. Стабилизация гидравлических режимов на экспериментальной установке достигалась в течение 15 мин. При изучении местных размывов размываемый грунт заранее в течение одного дня промывали водой, а 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 осуществлялся пропуск заданного расхода, для того чтобы затем посмотреть, как сформировалась воронка местного размыва.

При работе многосекционного гасителя были рассмотрены пять различных случаев маневрирования затворами:

подача расхода лишь одной крайней секцией,

подача расхода двумя соседними секциями,

подача расхода двумя крайними секциями,

подача расхода одной центральной секцией,

подача расхода тремя секциями одновременно.

Во всех этих случаях в нижнем бьефе устанавливались три различные глубины: $h_{н.б.} = 5 \text{ см}$, $h_{н.б.} = 7 \text{ см}$ и $h_{н.б.} = 9 \text{ см}$. Им соответствовали девять различных расходов: $Q = 2,4 \text{ л/с}$; $Q = 3,25 \text{ л/с}$; $Q = 4,32 \text{ л/с}$; $Q = 5 \text{ л/с}$; $Q = 5,85 \text{ л/с}$; $Q = 6,56 \text{ л/с}$; $Q = 8,89 \text{ л/с}$; $Q = 9 \text{ л/с}$; $Q = 13,67 \text{ л/с}$.

На основании полученных данных был определен коэффициент сопротивления рассматриваемых элементов шероховатости, отнесенных к выходному сечению многосекционного гасителя ударного действия, было составлено уравнение Бернулли для сечения 1-1 и 2-2 (см. рис.2). За плоскость сравнения была принята горизонтальная плоскость А-А через дно рисбермы. Уравнение составлено следующим образом:

$$h_1 + \alpha_1 v_1^2 / (2g) = h_2 + \alpha_2 v_2^2 / (2g) + h_f;$$

$$h_f = (h_1 + \alpha_1 v_1^2 / (2g)) - (h_2 + \alpha_2 v_2^2 / (2g)),$$

где h_1 – усредненная глубина воды на выходе из гасителя энергии ударного действия в сечении 1-1; h_2 – глубина воды в отводящем русле на выходе с рисбермы в сечении 2-2; v_1 и v_2 – усредненные скорости потока соответственно в сечениях 1-1 и 2-2; α_1 и α_2 – усредненные коэффициенты Кориолиса для указанных сечений; g – ускорение свободного падения; h_f – потери напора (энергии) между сечениями 1-1 и 2-2.

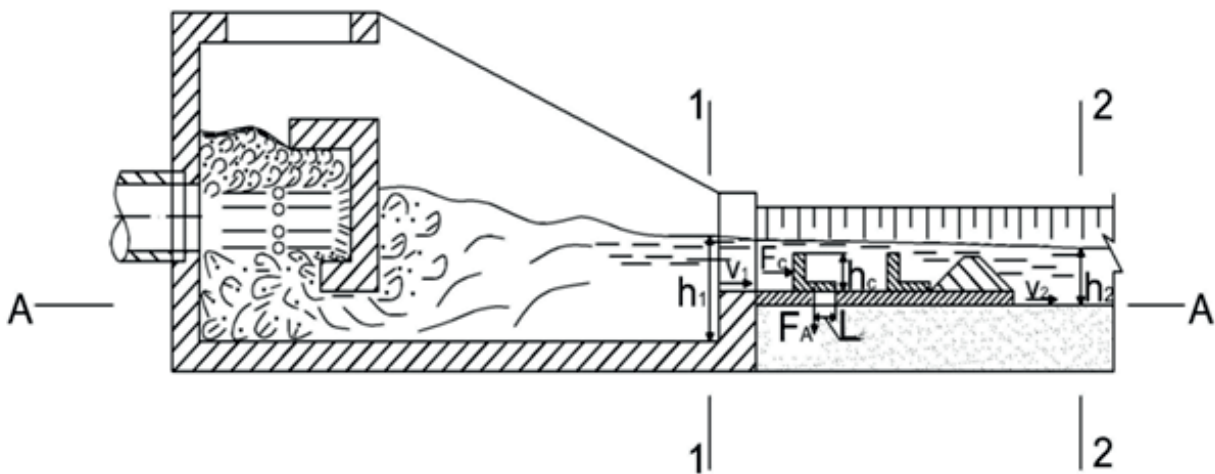


Рис. 2. Расчетная схема для определения коэффициента сопротивления на выходе из гасителя энергии ударного действия

Число Фруда на выходе из гасителя на рисберму и в отводящий канал определяли по формуле $F_{r1} = v_1^2 / (h_1 g)$. Результаты определения коэффициента сопротивления ζ представлены на рис. 3 в зависимости $\zeta = f_1(F_{r1})$.

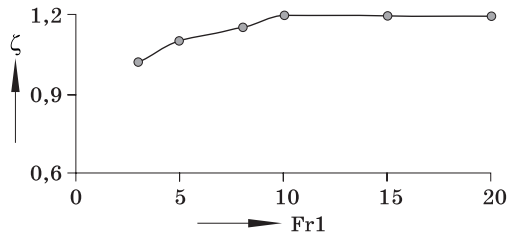


Рис. 3. Коэффициента сопротивления на выходе из гасителя энергии ударного действия

Помимо определения коэффициента сопротивления сооружения по результатам исследований, были построены плановые эпюры скоростей в указанных створах (рис. 4). При построении этих эпюр было применено условие экстраполяции скоростной эпюры до стенки по закону корня 7-й степени:

$$v_x = v X^{\frac{1}{7}},$$

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 [2].

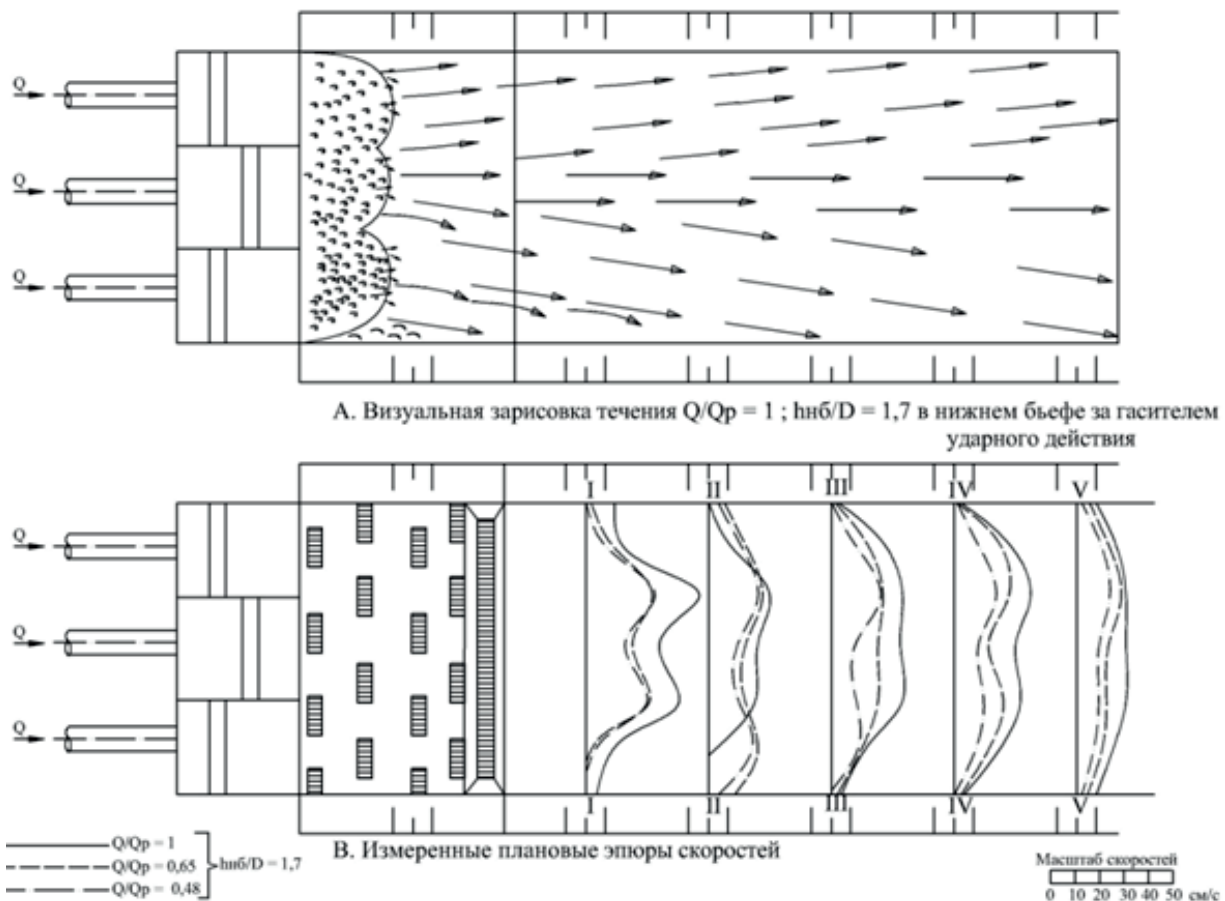


Рис. 4. Кинематическая структура потока в нижнем бьефе при различных гидравлических режимах работы гасителя ударного действия

Полученные графики могут быть использованы для прогнозирования параметров течения потока в нижнем бьефе многосекционного гасителя при различных режимах гидравлических условий его работы. Кроме того, для нескольких створов отводящего канала построены также вертикальные эпюры скоростей потока (рис. 5). По

результатам исследований наблюдалось достаточное равномерное распределение скорости потока в отводящем канале по всем рассматриваемым точкам. В створе 1 наблюдался некоторый сбой потока к левому откосу, что объясняется направлением движения потока, поступающего в донную сторону ближе к стенке канала.

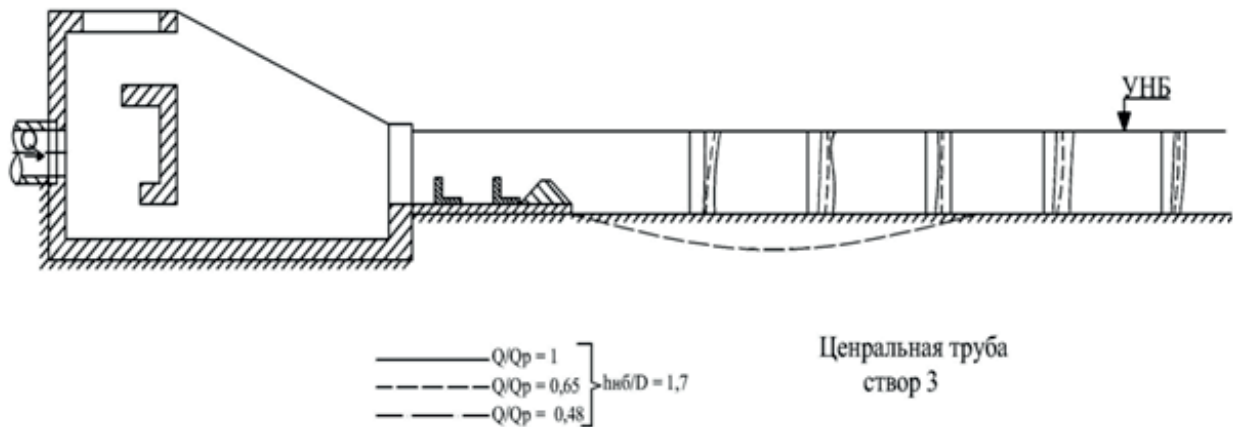


Рис. 5. Вертикальные эпюры при различных гидравлических режимах работы гасителя ударного действия

Проведенные лабораторные исследования кинематики потока подтверждают работоспособность конструкции элементов шероховатости за гасителем энергии ударного действия.

Выводы

При $F_r \geq 10$ значение коэффициента сопротивления остается величиной постоянной; при $F_r \leq 10$ значение коэффициента сопротивления уменьшается, его величина снижается по мере роста подтопления при значительном увеличении уровня воды в нижнем бьефе.

Непосредственно наблюдалась хорошая кинематическая структура потока как в самом сооружении, так и в его нижнем бьефе. Придонные скорости в створах 1 и 2 несколько превышали поверхностные скорости на участке ближе к сооружению.

Наблюдалась достаточно симметричная картина расположения свободной поверхности потока на поперечных створах относительно продольной оси канала.

Полученные в процессе экспериментов значения глубин и замеренные при этом эпюры скоростей хорошо подтверждают работоспособность предлагаемой конструкции элементов шероховатости на рисберме.

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

2. Federal Highway Administration «Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culvers and Channels»; publication No.FHWA-NHI-06-086. – July, 2006.

3. Леви И. И. Движение речных потоков в нижних бьефах гидротехнических сооружений. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1979. – 265 с.

4. Шапов Н. М. Гидрометрия гидротехнических сооружений и гидромашин. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1957. – 23 с.

5. Гидротехнические сооружения / Под ред. Н. П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с.

Материал поступил в редакцию 17.06.14.

Мвуйекуре Жан Клод, аспирант

Тел. 8-916-858-24-13

E-mail: mvuyek@mail