

УДК 626/075.81

МУРСАЛОВ А.А., САФАРОВА Н.А., САФАРОВА Э.Э.

Азербайджанский Архитектурно-Строительный Университет
aqil10233@gmail.com, sinalfa10@gmail.com, esmer.safarova@bk.ru

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ГАСИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ЗА ТРУБЧАТЫМИ ВОДОСБРОСАМИ

Введение. Исследованные и рекомендованные для практики конструкции нижнего бьефа средне- и низконапорных трубчатых сооружений имеют следующие параметры и особенности [1]:

- 1) число ниток труб 1-3;
- 2) напор в верхнем бьефе относительно дна отводящего канала $T=(1\div 5)d_T$, где d_T – диаметр трубы (в пределах от 0,5 до 2 м);
- 3) выходное сечение труб сопрягается с отводящим трапецидальным каналом в виде расширяющегося раструба с горизонтальным или наклонным участком дна и устройством в обоих случаях обратных стенок (рис. 1); во втором случае наклонный участок дна устраивается с уклоном 1:4 при понижении дна на $a=(0\div 1,4)d_T$;
- 4) центральный угол расширения раструба (Θ) принимается в пределах 25–50°; расстояние между трубами назначается конструктивно с учетом технологических соображений; при расстоянии между осями труб меньше $3d_T$ это расстояние практически не влияет на режим гашения энергии в нижнем бьефе;
- 5) полная относительная удельная энергия потока, выходящего из труб, изменяется от 1 до 4,5; α – коэффициент Корзиолиса, принимаемый равным 1; h_1 и V_1 – соответственно глубина и скорость на выходе из труб;
- 6) режим истечения из труб может быть как напорный, так и безнапорный;
- 7) сопряжение бьефов за гасителями может происходить при донном, переходном или поверхностном режиме с коэффициентом подтопления $\varepsilon_{п}=(h_2-\alpha h_1)$,

изменяющимся от 0,4 d_T до 2,3 d_T , где h_{2p} – глубина воды в конце рисбермы за прыжком;

- 8) работа двух- и трехочковых сооружений допускается неполным водосливным фронтом только при донном сопряжении бьефов за водобойной стенкой.

Гашение избыточной энергии потока в пространственных условиях применительно к рассматриваемой схеме трубчатых сооружений, когда центральный угол расширения потока в плане большой (25–50°), возможно при наличии гасителей энергии, расположенных в нескольких створах по течению потока в виде сочетания рассеивающего порога и водобойной стенки, имеющих следующее (рис. 1) конструктивное оформление [2]:

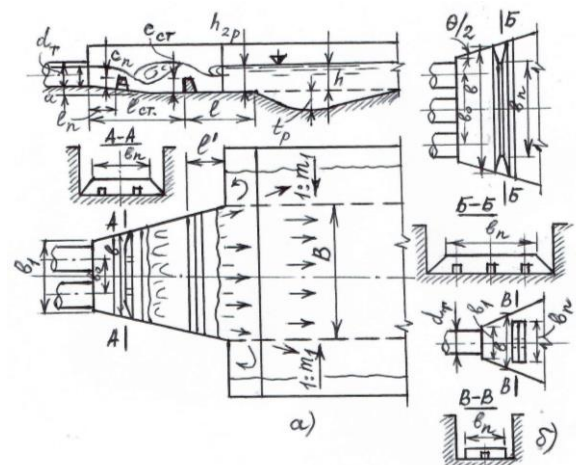


Рис. 1. Принципиальная схема гашения избыточной энергии потока в нижнем бьефе трубчатых сооружений и конструкции гасителей.

– в плоскости, перпендикулярной оси движения потока, рассеивающий порог

- имеет прямоугольную форму для одноочковых и трапецеидальную форму для двух - и трехочковых сооружений;
- в рассеивающем пороге по оси каждой трубы устраиваются отверстия, служащие для устранения пониженного давления, возникающего за порогом, и тем самым ликвидации прорыва воздуха в застенную область, влияющую на устойчивость положения транзитной струи в вертикальной плоскости; форма отверстий может быть разнообразной, в том числе и квадратной с размером стороны, равным половине высоты порога;
 - верхняя грань рассеивающего порога располагается нормально плоскости, на которой он устраивается;
 - верхняя грань водобойной стенки устраивается вертикальной; поперечное сечение стенки трапецеидальное;
 - если водосбросное сооружение работает при отрицательной температуре, то водобойная стенка снабжается отверстиями или прорезью для сброса оставшейся воды на водобое, чтобы не произошло замерзание воды в колодце перед сбросом паводка.

Высота рассеивающего порога c_n и его местоположение (l_n – расстояние от выходного сечения труб до верхней грани порога) определяются по графикам рис. 2 в зависимости от значения $\varepsilon_n = (h_{2p} - \alpha)/h_1$,

Ширина порога одноочковых сооружений составляет полусумму расстояний между стенками раструба b_1 в выходном сечении труб и между стенками раструба b в створе верхней грани рассеивающего порога [3]: $b_n = (b + b_1)/2$.

Рассеивающий порог для двух - и трехочковых сооружений представляет собой в поперечном сечении равнобедренную трапецию; ширина порога по низу равна ширине между стенками раструба в створе лобовой грани порога [4]. Ширина по верху составляет среднее значение между шириной порога по низу b и расстоянием b_0 между осями крайних труб: $b_n = (b + b_0)/2$.

Высота водобойной стенки определяется по зависимости [5]:

$$\frac{a_{ст.}}{h_{2p}} = k_a n Fr^m \quad (1)$$

$$Fr = k Fr_{2p} \quad (2)$$

где Fr_{2p} – число Фруда [8] на рисберме (в пределах от 0,02 до 0,15).

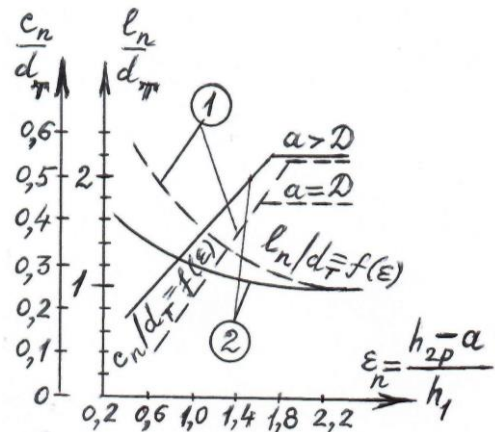


Рис. 2. Графики для определения высоты и местоположения рассеивающего порога: 1 – одноочковые водосбросы; 2 – двух и трехочковые водосбросы.

Значения коэффициентов n и m для параметра $(\Theta + a)/h_1$, изменяющегося в диапазоне от 1 до 4,5, определяются по зависимостям:

$$n = n_1 \exp \left(n_2 \left(\frac{\Theta + a}{h_1} \right) + n_3 \left(\frac{\Theta + a}{h_1} \right)^2 \right) \quad (3)$$

$$m = n_4 \exp \left(n_5 \left(\frac{\Theta + a}{h_1} \right) + n_6 \left(\frac{\Theta + a}{h_1} \right)^2 \right) \quad (4)$$

Коэффициенты n_1, n_2, n_3 и n_4, n_5, n_6 зависят от центрального угла раструба Θ и определяются по табл. 1.

Коэффициент k_a , учитывающий влияние понижения дна a на выходе из трубы в зависимости от a/d_T , имеет следующие значения (табл. 2):

Коэффициент k учитывает геометрические параметры отводящего канала m_1 и b [6], которые могут отличаться от принятых в исследованиях: для одноочковых сооружений

$$k = \left(\frac{(\eta + m_1 \epsilon)}{(7.5 + 2\epsilon)} \right)^2 \quad (5) \quad \text{для двухочковых}$$

Таблица 1.

Значения коэффициентов в формулах (3) и (4)

Θ, град	n ₁	n ₂	n ₃	n ₄	n ₅	n ₆
Для одноочковых водосбросов						
30	0,36	0,314	0,006	0,27	0,032	-0,009
40	0,551	0,093	0,03	0,286	0,006	-0,006
46	0,572	0,072	0,025	0,292	0,005	-0,007
Для двухочковых водосбросов						
30	0,724	-0,25	0,097	0,251	0,101	-0,016
40	0,518	0,102	0,021	0,262	0,087	-0,014
46	0,568	0,06	0,019	0,268	0,075	-0,014
Для трехочковых водосбросов						
30	0,117	0,109	0,024	0,274	0,045	-0,009
40	0,116	0,099	0,019	0,282	0,037	-0,0074
46	0,118	0,056	0,024	0,289	0,026	-0,0057

Таблица 2

a/d _г	1,4	1,2	1	0,8	0,6	0,4	0,2	0
k _a	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15	1,18	1,2

$$k = \left(\frac{(\eta + m_1 \epsilon)}{(8.6 + 2\epsilon)} \right)^2 \quad (6)$$

для трехочковы

$$k = \left(\frac{(\eta + m_1 \epsilon)}{(10.5 + 2\epsilon)} \right)^2 \quad (7)$$

где m₁ — заложение откосов отводящего канала; η = B/d_г; ε = h_{2п}/d_г.

Расстояния от выходного сечения труб до верховой грани водобойной стенки определяются по следующим зависимостям, справедливым при $\frac{\partial_1}{h_1} = 1 \div 4$ для одноочковых сооружений

$$\frac{l_{ст}}{c_{ст}} = 22.1 \left(\frac{\partial_1}{h_1} \right)^{-1.09} + 5 \quad (8)$$

для двухочковых

$$\frac{l_{ст}}{c_{ст}} = 32.7 \left(\frac{\partial_1}{h_1} \right)^{-0.97} + 1.3 \quad (9)$$

для трехочковых

$$\frac{l_{ст}}{c_{ст}} = 45 - 27 \left(\frac{\partial_1}{h_1} \right)^{0.2} \quad (10)$$

При работе двух - и трехочковых сооружений не всеми трубами отсутствие сбойного течения обеспечивается в случае образования донного режима сопряжения за водобойной стенкой, который имеет место при глубине в нижнем бьефе, определяемой из зависимости [7]:

$$\frac{(h_{2п} - a)}{d_T} = 0,5 \cdot \left(\frac{\partial_1}{h_1} \right)^{0,6} + 0,7 \frac{h_{п}}{d_T} \quad (11)$$

справедливой при значениях $\frac{\partial_1}{h_1} = 1 \div 4$.

Предлагаемая расчетная методика дает возможность определить геометрические и гидравлические параметры водобойных колодцев как для низконапорного, так средне и высоконапорных гидроузлов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрен гидравлический расчет гасителей энергии за трубчатыми водосбросами. Предложены конструкции рассеивающего порога и водобойной стенки и методика их расчета. Решение позволяет снизить энергию потока и повысить устойчивость сооружений.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Musayev Z.S., Məmmədov K.M., Zərbəliyev M.S. Hidravlika və hidravliki məşinlər. Bakı: "Təhsil" NPM, 2019, 420 s.
2. Məmmədov K.M., Musayev Z.S. Hidrotexniki qurğular. Bakı: "Təhsil" NPM, 2006, 406 s.
3. Musayev Z.S. və b. Hidrotexniki qurğular. Bakı: "Təhsil" NPM, 2009, 688 s.
4. Полонский Г.А. Механическое оборудование гидротехнических сооружений. Москва, 1982, 352с.
5. Замарин Е.А., Фадеев В.В. Гидротехнические сооружения. Москва, 1965, 624 с.
6. Киселев П.Г. Гидравлика: Основы механики и живкости. Москва: "Энергия", 1980, 360 с.
7. Məmmədov K.M., Musayev Z.S. və b. Qurğuların hidravlikası. Bakı: "Çaşıoğlu", 2002, 226 с.
8. Mürsəlov A.Ə. "Hidrotexniki qurğuların tədqiqində modelləşdirmə məsələləri" nə dair metodiki vəsait. Bakı: "Politex" MMC-nin mətbəəsi, 2016, 128 s.

UOT 626/075.81

**Mürsəlov A.Ə., Səfərova N.A.,
Səfərova Ə.E.**

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
aqil10233@gmail.com,
sinalfa10@gmail.com,
esmer.safarova@bk.ru

**Borulu sutullayanın arxasında enerji
söndürücünün hidravliki hesablanması**
XÜLASƏ

Elmi məqalədə bir, iki və üç ədəd olub borusu vasitəsilə aşağı byefə atılan axının kinetik enerjisini söndürmək üçün planda genişlənən sudöyən quyunun hidravliki hesablanmasına baxılır. Daxili diametri $0,5 \div 2$ m intervalında dəyişən dib borusunun götürülmüş diametrinin 5 mislinədək basqının təsiri altında, quyu daxilindəki ikinci enerjisöndürücü olan sudöyən divarın hündürlüyü onun üzərindən keçən axına görə tapılmış Frud ədədindən asılı olaraq təyin edilir. Həmçinin bu cür sutullayan qurğuda sudöyən quyu qurğunun uzununa kəsiyində göstəriləyi kimi

iki enerjisöndürücü ilə əvəzləndikdə, məişət dərinliyinin formalaşdığı təbii məcrada dib yuyulmasının maksimal dərinliyinin tapılması imkanı əlavə edilir.

Açar sözlər: *yuxarı byefdə basqı, aparıcı kanal, enerjisöndürücü, Frud ədədi, sudöyən divar, iki və üç gözlü sutullayan.*

UDC 626/075.81

**Mursalov A.A., Safarova N.A.,
Safarova A.E.**

*Azerbaijan University of Architecture
and Construction*
aqil10233@gmail.com,
sinalfa10@gmail.com,
esmer.safarova@bk.ru

**Hydraulic calculation of the energy
dissipator behind the pipe spillway**
ABSTRACT

The scientific article considers the hydraulic calculation of a stilling basin, which is expanded in plan to dissipate the kinetic energy of the flow discharged downstream through one, two and three pipes. Under the influence of pressure up to 5 times the assumed diameter of the bottom pipe, the internal diameter of which varies in the interval of $0.5 \div 2$ m, the height of the stilling wall, which is the second energy dissipator inside the stilling basin, is found depending on the Froude number according to the flow passing over it. Moreover, when the stilling basin is replaced with two energy dissipators in such a spillway, as shown in its longitudinal section, the possibility of finding the maximum bottom depth washed off in the natural channel bed where the normal depth is formed appears.

Keywords: *upstream head, leading channel, energy dissipator, Froude number, stilling wall, two- and three-eyed spillway.*

*Məqaləyə AzMIU-nun "Meliorasiya və su təsərrüfatı tikintisi" kafedrasının dosenti
V.H. Səlimova rəy vermişdir.*

Redaksiyaya daxil olma/Received 17.04.2026

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 27.05.2026