

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.83:532.533.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-1-79-86

## ВОДОБОЙНЫЙ КОЛОДЕЦ С ЗАКРУТКОЙ ПОТОКА

**ГУРЬЕВ АЛИМ ПЕТРОВИЧ**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, профессор

alim\_guryev@mail.ru

**ЧУМИЧЕВА МАРИНА МИХАЙЛОВНА**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент

esyusha@gmail.com

**МАРЕЕВА ОЛЬГА ВИКТОРОВНА**<sup>1</sup>, канд. техн. наук, доцент

mareevaolgav@gmail.com

**ВЕРХОГЛЯДОВА АЛЕКСАНДРА СЕРЕЕВНА**<sup>1</sup>, старший преподаватель

asverhogladova@yandex.ru

**БРАКЕНИ АБДЕРРЕЗАК**<sup>2</sup>, канд. техн. наук, профессор

brakeniabderrezak@gmail.com

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Москва, Прянишникова, 19. Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательская лаборатория по прикладной гидравлике и окружающей среде, факультета технологий университета Абдеррахмана Мира; 06000 Алжир, г. Беджая

В представленных материалах выполнен анализ работы существующих конструкций устройств для гашения избыточной энергии холостых сбросов воды на гидротехнических сооружениях. Наиболее применяемой в практике гидротехнического строительства во всём мире конструкцией для гашения энергии потока являются водобойные колодцы с прямолинейной осью, выполненные в плане призматической или трапециевидальной формы, которые подкупают своей простотой. Основным недостатком этих водобойных колодцев в случае их применения совместно с трубчатыми водосбросами, особенно имеющими несколько ниток, является практическая невозможность обеспечения равномерного распределения удельных расходов на выходе из водосброса. Это связано с тем, что при наличии нескольких ниток трудно обеспечить равномерное распределение удельных расходов во входном сечении водобойного колодца, что вызывает появление неустойчивых режимов при работе водобойного колодца, особенно в случае работы водосброса неполным фронтом, что делает их неприменимыми именно для многоочковых трубчатых водосбросов. В то же время, деформируя поток водобойного колодца в виде спирали, можно сократить длину водобойного колодца, создав одновременно возможность симметричного планового растекания потока в отводящем русле за выходным сечением водобойного колодца, одновременно позволяя использовать его при необходимости многократного расширения потока за водосбросом.

**Ключевые слова:** трубчатый водосброс, призматический, расширяющийся водобойный колодец, закрутка безнапорного потока, соударение потоков, расширение потока

**Формат цитирования:** Гурьев А.П., Мареева О.В., Верховлядова А.С., Бракени А. Водобойный колодец с закруткой потока // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 79-86. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-79-86.

© Гурьев А.П., Мареева О.В., Верховлядова А.С., Бракени А., 2021

Original article

## STILLING BASIN WITH A FLOW SWIRLING

**GURJEV ALIM PETROVICH**<sup>✉1</sup>, doctor of technical sciences, professor

alim\_guryev@mail.ru

**CHUMICHEVA MARINA MIKHAILOVNA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor

esyusha@gmail.com

**MAREEVA OLGA VICTOROVNA**<sup>1</sup>, candidate of technical sciences, associate professor

mareevaolga@gmail.com

**VERHOGLYADOVA ALEXANDRA SERGEEVNA**<sup>1</sup>, senior teacher

asverhoglyadova@yandex.ru

**BRAKENI ABDERREZAK**<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, professor

brakeniabderrezak@gmail.com

<sup>1</sup> Russianstateagrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Pryanisnikova, 19. Russiya

<sup>2</sup> Research laboratory on the applied hydraulics and environment, faculty of technologies of the Abderrahman Mir University; 06000 Algeria, city Bedjaya

*In the given materials there is given an analysis of the operation of existing constructions of devices for dissipation of excess energy of idle water discharges at hydraulic engineering facilities. The most applied design for dissipation of flow energy in the practice of hydraulic building in the world is stilling basins with straight axis made in prismatic or trapezoidal shapes which is appealing in their simplicity. The main disadvantage of these stilling wells in case of their using together with tubular spillways, especially having several strings, is practical impossibility to provide uniform distribution of specific discharges at the outlet from the spillway. This is connected with the fact that with several strings it is difficult to provide uniform distribution of specific discharges in the inlet section of the stilling well, it causes appearance of unstable regimes during operation of the stilling basin, especially in case of spillway operation with incomplete front which makes them inapplicable exactly for multi-point tubular spillways. At the same time, by deforming the stilling basin well flow in the form of a spiral, it is possible to reduce the length of the spilling basin by creating the possibility of the planned symmetric spreading of the flow in the output section in the diversion channel of the stilling basin, allowing using it if necessary to repeatedly expand the flow behind the spillway.*

**Keywords:** tubular spillway, prismatic, expanding stilling basin, free flow swirling, flow collision, flow expansion

**Format of citation:** Gurjev A.P., Mareeva O.V., Verhoglyadova A.S., Brakeni A. Stilling basin with a flow swirling // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 1. – S. 79-86. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-1-79-86.

**Введение.** Практически все подпорные гидротехнические сооружения, возведенные на естественных водотоках, имеют водосбросные сооружения, предназначенные для холостого сброса излишков расходов. Сброс осветленной водохранилищем воды с большой энергией неизбежно влечет за собой размывы русла в нижнем бьефе сооружения, чреватые его разрушением. Для предупреждения этой опасности на всех гидроузлах предусматривается гашение избыточной энергии сбросного потока. На средних и низконапорных гидроузлах применяется преимущественно гашение энергии в водобойном колодце [1-6]. В простейшем случае водобойный колодец представляет собой коробчатое сооружение в плане призматической формы с вертикальными стенками, дно которого заглублено относительно дна русла на величину, обеспечивающую гашение энергии максимального расхода воды, определяемого соответствующими расчетами. Недостатком призматических водобойных колодцев является наличие больших удельных расходов в выходном сечении, равных величине удельных расходов на входе.

Наиболее дорогостоящим сооружением гидроузла является водосброс, поэтому его стремятся выполнить с минимально возможной длиной, что обеспечивает максимально возможные удельные расходы. Это приводит к необходимости увеличивать длину и глубину водобойного колодца, толщину его стен и дна, а также к увеличению мощности защитной конструкции участка русла, примыкающего к водобойному колодцу, для его защиты от размыва.

Одним из способов, позволяющих повысить экономичность применения водобойных колодцев, является применение расширяющихся в плане водобойных колодцев [3-5] в качестве водосбросов донных труб [2, 4, 6, 7]. В этом случае удастся увеличить ширину выходного сечения водобойного колодца в 2...3 раза, соответственно уменьшив величину удельных расходов на выходе из колодца и снизив опасность размыва нижнего бьефа.

Одним из недостатков расширяющихся в плане водобойных колодцев является ограничение угла  $\vartheta$  конусности боковых стен. При свободном растекании потока

на горизонтальной плоскости угол  $\vartheta_{\text{бок}}$  бокового расширения по [5, 7] может быть определен из зависимости:

$$\vartheta_{\text{бок}} = \frac{1}{\sqrt{Fr_{\text{сж}}}}, \quad (1)$$

где  $Fr_{\text{сж}}$  – числа Фруда в сжатом сечении на выходе из донного водовода:

$$Fr_{\text{сж}} = \frac{v_{\text{сж}}^2}{g \cdot h_{\text{сж}}}. \quad (2)$$

На границе струи, определяемой выражением (1), толщина потока равна нулю, а максимальную толщину струя имеет на оси. При расчете параметров водобойного колодца ориентируются на средние показатели параметров струи: на среднюю глубину и среднюю по поперечному сечению скорость. Соответственно при достижении порога водобойного колодца такая струя будет фонтанировать в центре с возможностью выброса в отводящий водовод с образованием сбойного течения. Для предотвращения этого нежелательного эффекта и получения примерно осредненных параметров, как показала практика модельных исследований, максимальный угол боковой стенки водобойного колодца с осью потока не должен превосходить величины  $\vartheta_{\text{max}} \leq 7^\circ$  по [3, 5] при свободном растекании потока и  $\vartheta_{\text{max}} \leq 12^\circ$  – при подпертом растекании потока [4, 6, 14].

Такие конструкции водобойных колодцев становятся неприменимыми при необходимости большого расширения потока в плане. В качестве примера можно привести проектные проработки канала Волго-Дон-2, который проектировался в 80-е гг. прошлого столетия для компенсации потерь воды из реки Дон на шлюзование при судоходстве по каналу Волго-Дон [9]. По трассе канала Волго-Дон-2 предусматривалось построить три перепада высотой порядка 20 м каждый. При расчетном расходе канала  $Q_{\text{расч}} = 393 \text{ м}^3/\text{с}$  и ширине быстротоков  $b = 18,0 \text{ м}$  длина гидравлического прыжка  $l_{\text{пр}} = 46 \text{ м}$ , и при угле растекания потока  $2\vartheta_{\text{max}} = 14^\circ$  на выходе из расширяющегося водобойного колодца можно обеспечить ширину потока  $B = 29 \text{ м}$ . Ширина канала по урезу воды составляла 105 м. По данным модельных гидравлических исследований, после сопряжения потока водобойного колодца с потоком канала осуществлялось в форме синусоидального планового сбойного течения, с образованием чередующихся водоворотных зон у правого и левого берегов.

При плановом расширении потока в водобойном колодце с углом расширения  $2\vartheta_{\text{max}} = 14^\circ$  потребовалось бы выполнить расширяющийся водобойный колодец длиной  $L$ :

$$L = \frac{B - b}{2 \cdot \operatorname{tg} \vartheta_{\text{max}}} = \frac{105 - 18}{2 \cdot \operatorname{tg} 7^\circ} = 354 \text{ м}, \quad (3)$$

что нереально для исполнения.

**Материалы и методы.** Предлагаемая конструкция водобойного потока была разработана для гидроузла Нижне-Кафирниганской ГЭС в Таджикистане и проверена в работе на модели масштаба 1:40 натуральной величины, а позднее – на модели 1:40 натуральной величины перепадов 2-й очереди канала Волго-Дон и в варианте водосброса гидроузла Джедра в Алжире на модели 1:60 натуральной величины. При разработке этих моделей были использованы технические решения по авторским свидетельствам СССР [8, 9, 11, 12]. Эти технические решения представляют собой расширяющийся в плане водобойный колодец, порог которого сопрягается с боковыми стенками цилиндрическими поверхностями, возвращающими соответствующие части потока водобойного колодца к его входному сечению.

На входе в водобойный колодец выполнены два выступа, примыкающие к боковым стенкам. Выступы имеют боковые грани, выполненные как продолжение соответствующих стенок быстротока, горизонтальные верхние грани и наклонные в сторону порога торцевые грани. Возвратные струи водобойного колодца по наклонным торцевым граням выступов поднимаются на горизонтальные грани и по ним направляются к оси колодца, где и встречаются над потоком быстротока в зоне его вхождения в водобойный колодец. В месте встречи возвратных струй происходит их соударение, взаимное гашение энергии и взаимодействие с потоком быстротока по [13]. При этом над потоком быстротока формируется спутный поток, направленный к выходу из водобойного колодца. Одновременно боковые струи этого спутного потока вовлекаются во вращательное движение водоворотов, сформированных возвратными струями. В результате к выходному сечению водобойного потока подходит веерообразный симметричный поток, который занимает все сечение колодца и отводящего канала. В такой конструкции водобойного колодца угол расширения потока может быть любым и назначается по конструктивным соображениям [8].



На рисунке 1 показан снимок модели водобойного колодца с закруткой потока в масштабе М 1:40, который был разработан в проекте водобойных колодцев на перепадах канала Волго-Дон-2.

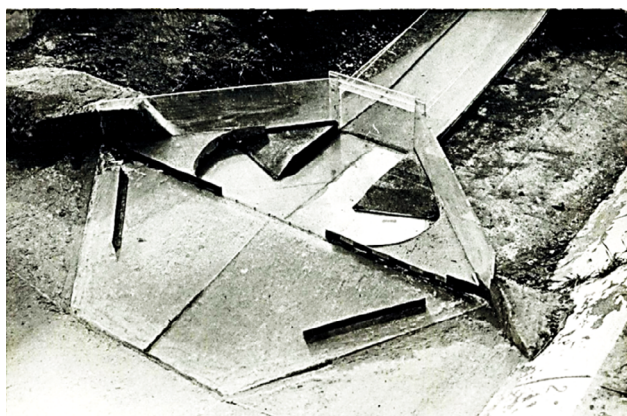


Рис. 1. Фото модели водобойного колодца с закруткой потока на перепаде канала Волго-Дон 2

Fig. 1. Photo of the model of the stilling basin with a flow swirling on the drop of the Volgo-Don Channel 2

На рисунке 2 показана работа модели М 1:40 водобойного колодца с закруткой потока на перепаде канала Волго-Дон-2 при пропуске расчетного расхода  $Q = 393 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Как следует из данных рисунка 2, в центре порога водобойного колодца формируется вертикальный выброс воды, который на рисберме формирует повторный гидравлический прыжок. При этом интенсивная закрутка боковых участков транзитного потока вызывает излишнее увеличение удельных расходов на откосах канала, для уменьшения которых приходится устанавливать поперечные стенки, которые продемонстрированы на снимке водобойного колодца (рис. 1).

Формированию сбойного режима особенно подвержены расширяющиеся водобойные колодцы при их использовании в качестве энергогасящего сооружения на трубчатых водосбросах при выполнении их с несколькими трубами.

На рисунке 3 показан снимок модели прямоосного расширяющегося водобойного колодца трубчатого донного водосброса, состоящего из четырех труб, Нижне-Кафирниганской ГЭС в Таджикистане, при пропуске расхода через одну трубу. Ширина водобойного колодца на входе составляла 26,5 м, а на входе в отводящий канал – 50 м. Длина водобойного колодца составляла 90 м при глубине

19 м. Как следует из рисунка 3, при работе одной водосбросной трубы в водобойном колодце формировался мощный односторонний водоворот, из-за которого сбросная струя практически без гашения энергии, достигла порога водобойного колодца и выплеснулась в виде веерообразного потока в отводящий водовод.

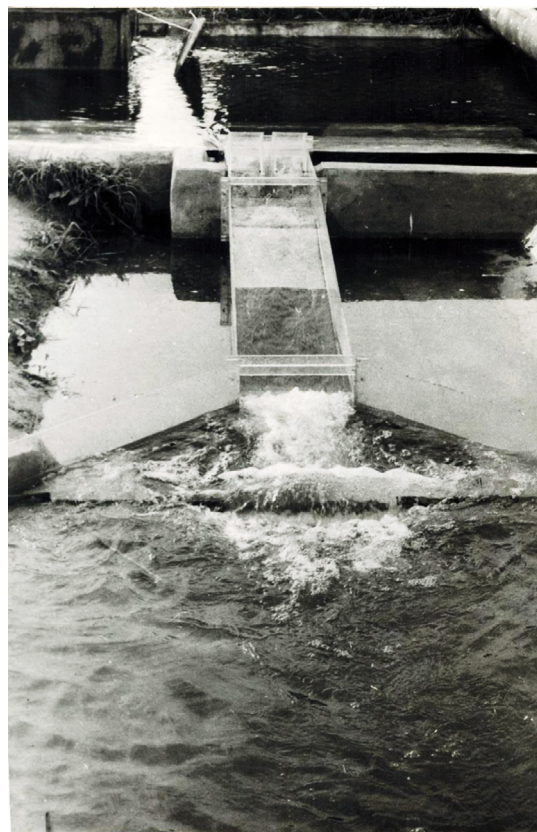


Рис. 2. Работа модели водобойного колодца с закруткой потока на перепаде канала Волго-Дон-2. Расход  $Q = 393 \text{ м}^3/\text{с}$ . М 1:40

Fig. 2. Photo of the operation of the stilling basin model with a flow swirling on the drop of the channel Volgo-Don 2. Consumption  $Q = 393 \text{ м}^3/\text{с}$ . М 1:40

**Результаты и обсуждение.** Для исключения сбойности потока в водобойном колодце при неравномерном распределении удельных расходов во входном сечении была доработана конструкция водобойного колодца с циркуляцией потока, принятая в проекте канала Волго-Дон-2 с учетом недостатков, выявленных при исследовании [8].

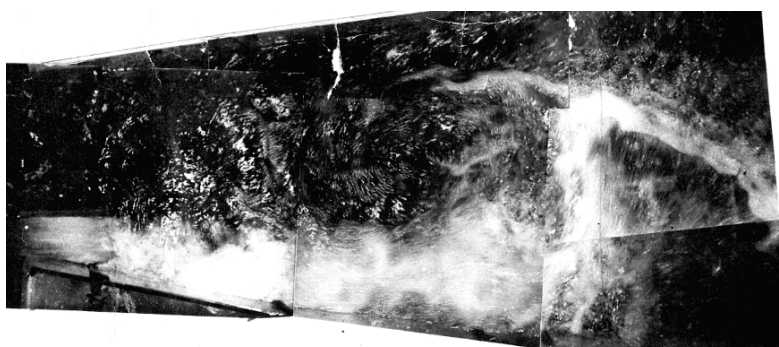
На рисунке 4 приведен план (а) и продольный разрез (б) доработанного водобойного колодца с закруткой потока, а также приведена экспликация его элементов.

Доработка состояла в том, что порог водобойного колодца 1 был выполнен в плане

в виде двух пересекающихся на оси сооружения криволинейных вертикальных поверхностей 13, расположенных выпуклостью в сторону отводящего водовода 3 и сопрягающихся с боковыми стенками 8 водобойного колодца. При таком выполнении порога происходит разделение донного потока быстрого тока на две струи с их безударным сопряжением с его криволинейными поверхностями и разворот этих струй обратно в сторону входного сечения порога. Преимущество такого выполнения порога водобойного колодца заключается в том, что при неравномерном распределении удельных расходов во входном сечении водобойного колодца та часть потока, на которую приходится большая часть

расхода (например, левая), формирует более мощный водоворот. Под действием спутной струи водоворота происходит отжим всей донной струи в сторону участка с меньшим расходом, вследствие чего во второй половине колодца (в данном случае правой) водоворот усиливается, и наступает момент стабилизации течения, при котором струя перед порогом автоматически центрируется, и транзитный поток на входе в отводящий водовод формирует симметричную эпюру скоростей.

Таким образом, в водобойном колодце формируется поток с отрицательной обратной связью: чем интенсивнее струя создает водоворот, тем интенсивнее водоворот оттесняет ее в сторону с меньшей долей расхода.



**Рис. 3. Работа водобойного колодца при пропуске расхода  $322 \text{ м}^3/\text{с}$  через одну трубу. М 1:40**

**Fig. 3. Operation of the stilling basin under consumption  $322 \text{ m}^3/\text{s}$  passing through one tube. М 1:40**

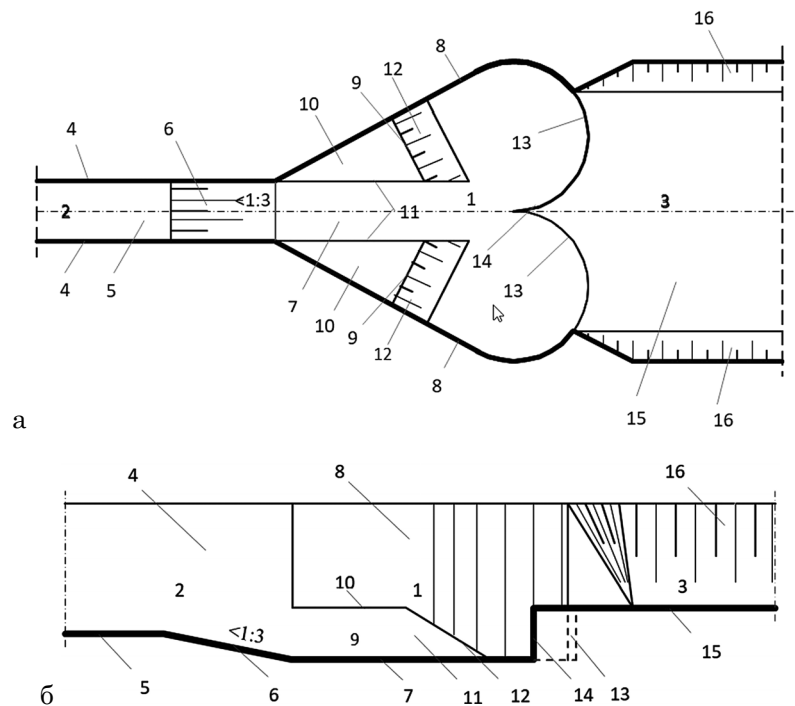
Для исключения сбойности потока в водобойном колодце при неравномерном распределении удельных расходов во входном сечении была доработана его конструкция, принятая в проекте канала Волго-Дон-2 с учетом недостатков, выявленных при исследовании [8].

На рисунке 4 приведен план (а) и продольный разрез (б) доработанного водобойного колодца с закруткой потока, а также приведена экспликация его элементов.

Доработка заключалась в том, что порог водобойного колодца 1 был выполнен в плане в виде двух пересекающихся на оси сооружения криволинейных вертикальных поверхностей 13, расположенных выпуклостью в сторону отводящего водовода 3 и сопрягающихся с боковыми стенками 8 водобойного колодца. При таком выполнении порога происходит разделение донного потока быстрого тока на две струи с их безударным сопряжением с его криволинейными поверхностями и разворот этих струй обратно в сторону входного сечения порога.

Преимущество такого выполнения порога водобойного колодца заключается в том, что при неравномерном распределении удельных расходов во входном сечении водобойного колодца та часть потока, на которую приходится большая часть расхода (например, левая), формирует более мощный водоворот. Под действием спутной струи водоворота происходит отжим всей донной струи в сторону участка с меньшим расходом, вследствие чего во второй половине колодца (в данном случае правой) водоворот усиливается и наступает момент стабилизации течения, при котором струя перед порогом автоматически центрируется, и транзитный поток на входе в отводящий водовод формирует симметричную эпюру скоростей.

Таким образом, в водобойном колодце формируется поток с отрицательной обратной связью: чем интенсивнее струя создает водоворот, тем интенсивнее водоворот оттесняет ее в сторону с меньшей долей расхода.



**Рис. 4. Водобойный колодец с закруткой потока с криволинейным порогом:**  
 а – план водобойного колодца с закруткой потока; б – продольный разрез по оси колодца  
 (1 – водобойный колодец; 2 – подводящий водовод; 3 – отводящий водовод;  
 4 и 5 – стенка и дно подводящего водовода; 6 – концевой участок дна подводящего водовода;  
 7 – дно водобойного колодца; 8 – боковые стенки водобойного колодца; 9 – уступ;  
 10 – горизонтальная грань уступа; 11 – внутренняя грань уступа; 12 – наклонная грань уступа;  
 13 – криволинейный участок порога водобойного колодца; 14 – зуб порога;  
 15 и 16 – дно и боковые стенки отводящего водовода)

**Fig. 4. Stilling basin with a flow swirling with a curvilinear threshold:**  
 а – plan of the stilling basin with a flow swirling; б – longitudinal section on the axis of the basin  
 (1 – stilling basin; 2 – supply conduit; 3 – outlet conduit; 4 and 5 – wall and bottom of the supply conduit;  
 6 – end part of the bottom of the supply conduit; 7 – bottom of the stilling basin;  
 8 – side walls of the stilling basin; 9 – ledge; 10 – horizontal face of the ledge; 11 – inner face of the ledge;  
 12 – oblique face; 13 – curvilinear section of the stilling basin threshold; 14 – threshold tooth;  
 15 and 16 – bottom and side walls of the outlet conduit)

На рисунке 5 приведена работа водобойного колодца эксплуатационного водосброса Нижне-Кафирниганской ГЭС, состоящего из трех труб сечением  $b \times h = 4,0 \times 5,0$  м, пропускающих по  $322 \text{ м}^3/\text{с}$  при напоре  $H_{\text{расч.}} = 67$  м. На рисунке 5-а показана работа водобойного колодца при работе всех трех труб, на рисунке 5-б – работа водобойного колодца при работе двух левых труб, а на рисунке 5-в – работа водобойного колодца при работе левой крайней трубы.

Как следует из рисунка 5, при всех режимах работы водосбросных труб на выходе из водобойного колодца с закруткой потока и криволинейным порогом наблюдается симметричная эпюра скоростей во входном сечении водоотводящего водовода даже при таком «жестком» режиме, как работа только одной крайней трубой. Особенно впечатляюще этот режим выглядит при сравнении с работой крайней трубы

в прямоосном расширяющемся водобойном колодце, приведенном на рисунке 3.

Эффект описанной конструкции водобойного колодца заключается в том, что в нем гидравлическому прыжку придается форма пространственной спирали, имеющей полтора витка: сначала поток по длине колодца в донном режиме подводится к зубу порога, которым разделяется на две половины. Потом каждая половина потока криволинейным участком порога возвращается в направлении входного сечения с подъемом на горизонтальную грань уступа, что обеспечивает соударение струй и возврат потока с погашенной энергией к выходному сечению водобойного колодца. Такая кинематика потока в водобойном колодце с закруткой потока обеспечивает возможность вдвое сократить длину водобойного колодца. В приведенном примере гашения энергии водосброса



Нижне-Кафирниганской ГЭС длина водобойного колодца была уменьшена с 90 до 50 м.

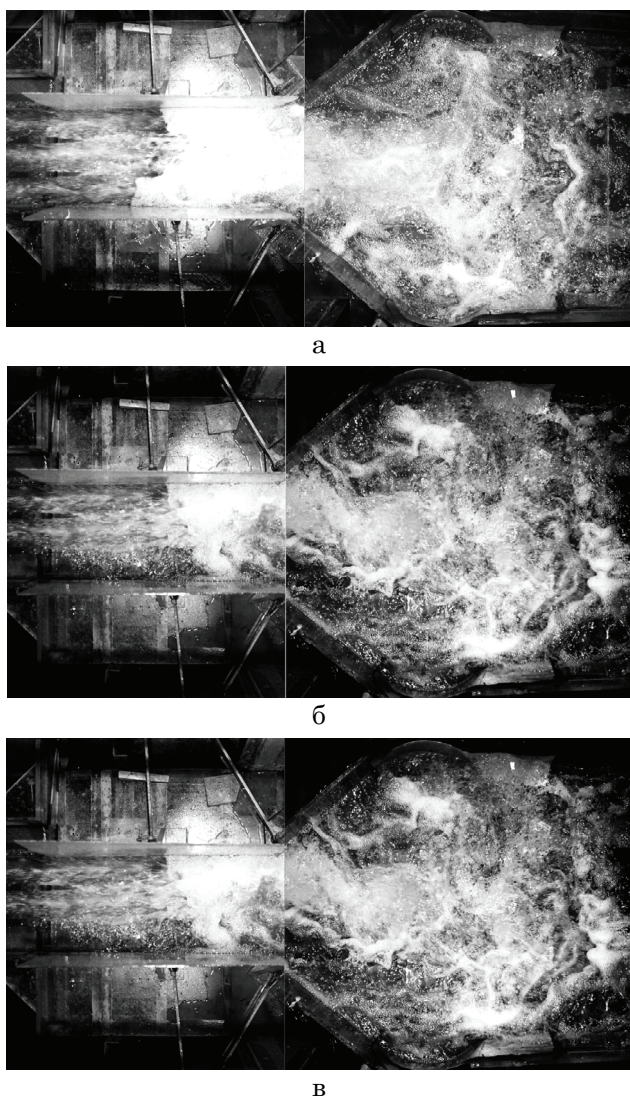


Рис. 5. Работа водобойного колодца с закруткой потока:

а – при работе трех труб;

б – при работе двух труб;

в – при работе одной трубы  $b \times h = 4,0 \times 5,0$  м, пропускающих по  $322 \text{ м}^3/\text{с}$  при напоре

$$H_{\text{расч.}} = 67 \text{ м}$$

Fig. 5. Photo of the stilling basin operation with a flow swirling:

а – at operation of three tubes;

б – art operation of two tubes;

в – at operation of one tube  $b \times h = 4.0 \times 5.0$  m, passing  $322 \text{ м}^3/\text{s}$  each under pressure

$$H_{\text{rated}} = 67 \text{ m}$$

### Библиографический список

1. Гидротехнические сооружения: учебник / под ред. Розанова Н.П. – М.: Стройиздат, 1978. – 647 с.

2. Гидротехнические сооружения: учебник для вузов в 2-х ч. / Под ред. Рассказова Л.Н. – М.: Изд-во АСВ, 2008. – 528 с.

В настоящее время отсутствуют исследования, освещающие работу подобной конструкции водобойного колодца с закруткой потока и содержащие теоретическое обоснование его параметров, подобных исследованию [8]. Поэтому предварительные параметры могут быть приняты по данному [8] источнику:

- глубина колодца  $h_k$  – в соответствии с расчетом призматического водобойного колодца;

- длина колодца  $l_{\text{зн}} = 0,5l_{\text{п}}$  длины призматического колодца;

- высота внутренних граней уступа  $h_y = 2h_{\text{сж}}$  сжатых глубин потока на входе в водобойный колодец;

- длина внутренних граней уступа  $l_y = 2/3l_k$  длины колодца;

- крутизна наклонных граней уступа – 1:1...1:1,5;

- крутизна наклона конечного участка дна подводящего водовода – <1:3;

- радиус кривизны криволинейных участков порога  $R = (0,2...0,25)$  в ширины колодца.

Уточнение параметров водобойного колодца с закруткой потока после определения предварительных параметров следует уточнить на гидравлической модели.

### Выводы

1. При всех достоинствах призматических водобойных колодцев невозможность их применения в конструкциях с неравномерным распределением расходов ограничивает зону их применения в гидротехническом строительстве.

2. Значительная длина колодца и необходимость восприятия значительных динамических нагрузок приводят к необходимости применения большого количества строительных материалов при их сооружении.

3. Водобойные колодцы с закруткой потока снижают вдвое длину колодца, а плавное – сопряжение потока с водобойной стенкой снижают до минимума динамические нагрузки на его конструктивные элементы.

4. Водобойные колодцы с закруткой потока применимы для гашения энергии потоков с любыми гидравлическими характеристиками.

### References

1. Gidrotehnicheskie sooruzheniya: uchebnik. / podred. Rozanova N.P. – M.: Strojizdat, 1978. – 647 s.

2. Gidrotehnicheskie sooruzheniya: uchebnik dlya vuzov v 2-hch. / Pod red. Rasskazova L.N. – M.: Izd-vo ASB, 2008. – 528 s.

3. **Чертоусов М.Д.** Гидравлика. Специальный курс. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 630 с.

4. **Зуйков А.Л., Волгина Л.В.** Гидравлика: учебник для вузов: в 2 т. Т. 2: Напорные и открытые потоки. Гидравлика сооружений. – М.: Изд-во МГСУ, 2015. – 424 с

5. **Агроскин И.И., Дмитриев Г.Т., Пикалов Ф.И.** Гидравлика. 4-е изд., перераб. – М.–Л.: Энергия, 1964. – 352 с.

6. **Волченков Г.Я.** Пособие по гидравлическим расчётам малых водопропускных сооружений. – М.: Транспорт, 1992. – 408 с.

7. **Емцев Б.Т.** Двухмерные бурные потоки. – М.: Энергия, 1967. – 212 с.

8. **Животовский Б.А., Гурьев А.П., Эленсон Г.З.** Руководство по расчёту высоконапорных вихревых водосбросов. – М.: Союзгипроводхоз, 1984. – 36 с.

9. **Научное обоснование проектных решений шахтного водосброса гидроузла Джедра.** Отчёт о научно-исследовательской работе. Номер темы: 03.03 – М.: МГУП, 2003.

10. **Электронный ресурс.** <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/vd2/volgo-don-2.htm>

11. Устройство для гашения энергии потока водосбросного сооружения: а.с.СССР № 1262000 МПК E02B 8/06 / А.П. Гурьев, Г.З. Эленсон, С.А. Бакеев, заявка 21.12.1984, опубл. 07.10.1986 Бюл. 37.

12. Устройство для гашения энергии потока воды: а.с.СССР № 1341326, МПК E02B8/06, / Г.З. Эленсон, А.П. Гурьев / заявка: 3948434 от 1985.09.02, опубл.: 1987.09.30.

13. **Факторович М.Э.** Методика приближённого гидравлического расчёта сопряжения бьефов водосбросных сооружений с использованием соударения потоков для гашения энергии. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 216 с.

14. **Novak P.** Hydraulic structures. / Third edition. / P. Novak, A.I.B. Moffat, C. Nalluri, R. Narayanan // London & New York: Spon Press, 2003. – 666 s.

#### Критерии авторства

Гурьев А.П., Мареева О.В., Верхоглядова А.С., Бракени А. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Гурьев А.П., Мареева О.В., Верхоглядова А.С., Бракени А. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 07.12.2020 г.

Одобрена после рецензирования 10.01.2021 г.

Принята к публикации 19.01.2021 г.

3. **Chertousov M.D.** Gidravlika. Spetsialny kurs. – М.–Л.: Gosenergoizdat, 1962. – 630 s.

4. **Zujkov A.L., Volgina L.V.** Gidravlika: uchebnik dlya vuzov v 2 t. T. 2: Napornye i otkrytye potoki. Gidravlikasooruzheniy. – М.: Izd-voMGSU, 2015. – 424 s.

5. **Agroskin I.I., Dmitriev G.T., Pikalov F.I.** Gidravlika. 4-eizd., pererab. – М.–Л.: Energiya, 1964. – 352 s.

6. **Volchenkov G.Ya.** Posobie po gidravlicheskim raschetam malyh vodopropusknyh sooruzhenij. – М.: Transport, 1992. – 408 s.

7. **Emtsev B.T.** Dvuhmernyeburnye potoki. – М.: Energiya, 1967. – 212 s.

8. **Zhivtovskiy B.A., Gurjev A.P., Elensov G.Z.** Rukovodstvoporashchetuvysokonapornyh vihrevykh vodosbrosov. – М.: Soyuzgiprovodhoz, 1984. – 36 s.

9. **Nauchnoe obosnovanie proektnyh resenij shahtnogo vodosbrosa gidrouzla Dzhedra.** Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. Nomer temy: 03.03 – М.: MGUP, 2003.

10. **Elektronnyy resurs.** <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/vd2/volgo-don-2.htm>

11. Устройство для гашения энергии потока водосбросного сооружения. SSSR № 1262000 МПК E02B 8/06 / А.П. Gurjev, G.Z. Elensov А.П., S.A. Bakeev, заявка 21.12.1984, opubl. 07.10.1986 Byul. 37.

12. Устройство для гашения энергии потока воды: а.с.СССР № 1341326, МПК E02B8/06, / G.Z. Elensov А.П., А.П. Gurjev/zayavka: 3948434 от 1985.09.02, opubl.: 1987.09.30.

13. **Faktorovich M.E.** Metodika priblizhen-nogo gidravlicheskogo rascheta sopryazheniya bjefov vodosbrosnyh sooruzhenij s ispolzovaniem soudarenija potokov dlya gasheniya energii. – М.–Л.: Gosenergoizdat, 1956. – 216 s.

14. **Novak P.** Hydraulic structures. / Third edition. / P. Novak, A.I.B. Moffat, C. Nalluri, R. Narayanan // London & New York: Spon Press, 2003. – 666 s.

#### Criteria of Authorship

Gurjev A.P., Mareeva O.V., Verhoglyadova A.S., Brakeni A. performed theoretical studies, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Gurjev A.P., Mareeva O.V., Verhoglyadova A.S., Brakeni A. have copyright on the article and are responsible for plagiarism.

#### Conflict of interest

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 07.12.2020

Approved after reviewing 10.01.2021

Accepted for publication 19.01.2021