Особенности гидравлического режима потока за концевым участком напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом

Б.М. Бахтин, Д.П. Михайлец, Д.А. Бушуев

Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева
(РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49

АННОТАЦИЯ

Введение. Представлен подход к исследованию гидравлического режима потока за концевым участком для определения возможности обеспечения равномерного распределения скоростей по ширине отводящего канала и безопасного сопряжения выходящего потока с нижним бьефом. Рассмотрены четыре варианта конструкций концевой части напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом потока, а именно: диск-отражатель, плоский горизонтальный сектор-отражатель, плоский наклонный сектор-отражатель и изогнутый сектор-отражатель.

Материалы и методы. Наиболее распространенным подходом является исследование конструкций на модели напорного водопропускного сооружения. Выполнено их сравнение по следующим параметрам: длина отлета струи, ширина струи в месте падения, форма растекания потока, равномерность распределения удельных расходов, набегание струи на откосы канала. Диаметр водовода на модели составляет $d = 3,4$ см, расходы $Q = 0,67 \dots 2,44$ л/с, напоры $H = 35 \dots 60$ см. Для сравнения выбраны конструкции со схожими геометрическими параметрами: относительные радиусы секторов-отражателей $R/d = 3,0$ и относительный диаметр диска-отражателя $D/d = 3,0$.

Результаты. Определены длины отлета струи для диска и плоского сектора в диапазоне относительной высоты расположения t/d от 0,5 до 1,0, для наклонного и изогнутого секторов — от 0 до 1,0; плановые очертания струи, выполнена оценка равномерности распределения удельных расходов, анализ гидравлического режима представленных концевых участков.

Выводы. В строительстве выявленные достоинства и недостатки рассматриваемых концевых участков позволяют рекомендовать их к использованию с учетом особенностей возникающих при этом гидравлических режимов.

Наибольшую длину отлета струи имеет изогнутый сектор-отражатель, а наименьшую — плоский горизонтальный сектор-отражатель. Наименьшие удельные расходы достигаются при использовании диска-отражателя, наибольшие — при плоском горизонтальном секторе-отражателе.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидротехническое строительство, гидротехнические сооружения, концевой участок, напорное водопропускное сооружение, трубчатый водосброс, водовыпуск, водоспуск, вертикальный выход потока, отражатель потока, гаситель-отражатель, малые удельные расходы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Бахтин Б.М., Михайлец Д.П., Бушуев Д.А. Особенности гидравлического режима потока за концевым участком напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 10. С. 1269–1275. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.10.1269-1275

Specifications of the hydraulic flow regime for the ending portion of the pressure tubular spillways with a vertical flow outlet

Bronislav M. Bakhtin, Dmitriy P. Mikhaylets, Dmitriy A. Bushuev

Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49, Timiryazevskaya st.,
Moscow, 127550, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. An approach to the study of the hydraulic flow regime behind the end section is presented in order to determine the possibility of ensuring uniform distribution of speeds across the width of the outflow channel and safe coupling of the outgoing flow to the lower pool. The four variants of designs of the ending portion of the pressure tubular spillways with a vertical flow outlet are considered, following constructions: a disk reflector, a flat horizontal sector reflector, a flat slanted sector reflector and a curved sector reflector.

Materials and methods. The most common approach to the comparison of structures were made according to the following parameters: the length of the stream's flight, the width of the jet, the form of flow spreading, the uniformity of the distribution of specific water flow, clash of the jet on the slopes of the channel. The diameter of the conduit on the model is $d = 3.4$ cm, the cost of $Q = 0.67 \dots 2.44$ l/s, pressure head $H = 35 \dots 60$ cm. For comparison of the chosen design with similar geometric parameters: the relative radiuses of the sectors of the reflector $R/d = 3.0$ and relative diameter of the disk-reflector $D/d = 3.0$.

Results. The lengths of the jet departure are determined for disk and flat sector in the relative height range of t/d from 0.5 to 1.0, for slanted and curved sectors—from 0 to 1.0. The planned outlines of the jet are determined, the uniformity of the distribution of specific water discharge is estimated, the analysis of the hydraulic regime of the presented end portions is carried out.

Conclusions. In of civil engineering the revealed advantages and disadvantages of the considered end portions allow to recommend it for use taking into account the peculiarities of the hydraulic regimes arising at the same time.

The greatest length of the jet departure has a curved sector-reflector, and the smallest — a flat horizontal sector-reflector. Lowest unit costs are achieved with a disc reflector, the largest in the flat horizontal sector-reflector.

KEYWORDS: hydraulic construction, hydraulic structures, end portion, pressure tubular spillway, spillway, floodgate, a vertical stream output, reflector flood, water energy dissipator, dissipator-reflector, small unit flow rate of the spillway

FOR CITATION: Bakhtin B.M., Mikhaylets D.P., Bushuev D.A. Specifications of the hydraulic flow regime for the ending portion of the pressure tubular spillways with a vertical flow outlet. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(10):1269-1275. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.10.1269-1275

ВВЕДЕНИЕ

Гашение энергии потока за средне- и высоконапорными водопропускными сооружениями является одной из сложнейших задач гидротехники, особенно в условиях узких створов. Предлагаемые раструбные конструкции концевого участка водовода с вертикальным выходом потока отвечают основным требованиям к таким сооружениям:

- обеспечивают благоприятные условия сопряжения потока с нижним бьефом, распределяя его избыточную энергию по ширине отводящего русла, ограниченного лишь топографическими и геологическими условиями створа;
- обеспечивают устойчивый напорный режим в водоводе;
- имеют простую конструкцию, доступны для осмотра и ремонта.

В работах В.А. Храповского и Е.И. Шкуланова [1], М.Х. Ибрагимова и Е.Н. Белоконова [2, 3], А.И. Костина и Т.Н. Севостьянова [4], Г.А. Петрова [5], К.Н. Дужака и З.Г. Ламердонова [6] и др. предлагаются различные концевые участки с затопленным выходным сечением транзитной части.

Во многих случаях такие концевые участки выполнены в виде камер гашения, которые увеличивают гидравлическое сопротивление выходного участка водовода и рассеивают избыточную энергию потока. Камеры гашения могут быть горизонтального [1, 6–10], наклонного [3, 9, 11] или вертикального [9, 12–15] исполнения. К последнему типу также относятся предлагаемые и исследуемые нами конструкции [16–17], важным достоинством которых является то, что ось отводящего канала в плане возможно расположить под произвольным углом к оси транзитной части водовода (туннеля или трубопровода).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования выполнены в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева на экспериментальной установке, моделирующей напорное водопропускное сооружение с вертикальным выходом потока. Объектом исследования является концевой участок, который включает гаситель-отражатель, установленный над выходным отверстием восходящего вертикального участка водовода и опирающийся на

бычки или направляющие стенки. В работе рассматривались концевые участки, конструкции которых приведены на рис. 1, с диском-отражателем и секторами-отражателями: плоскими, горизонтальным и наклонным и сектором криволинейного очертания. Новизна предлагаемых решений подтверждена патентами [16–18].

Обозначения основных размеров гасителей-отражателей к рис. 1:

d — диаметр вертикального водовода;

$R = 2,0d \dots 4,0d$ — радиус сектора-отражателя;

$D = 1,0d \dots 4,0d$ — диаметр диска-отражателя;

$\alpha = 30 \dots 360^\circ$ — угол раструбности;

$t = 0 \dots 1,0d$ — высота расположения гасителя-отражателя;

$\gamma = 25 \dots 35^\circ$ — угол наклона гасителя-отражателя к горизонту в продольном направлении.

Принцип работы такого концевого участка следующий — поступающий из выходного сечения вертикального участка водовода поток соударяется с отражателем, растекаясь по его внутренней поверхности. При этом на сходе с гасителя-отражателя формируется струя, расширяющаяся в соответствии с углом раструбности отражателя. Длина отлета струи $L_{отл}$ зависит от величин расхода Q и напора H водопропускного сооружения, высоты стен (бычков) гасителя-отражателя t , его формы и размеров. За длину отлета принято расстояние, отсчитываемое от кромки гасителя-отражателя до места падения струи на поверхность воды нижнего бьефа.

Концевой участок 1-го типа целесообразно использовать в условиях широких створов, остальные конструкции (разновидности сектора-отражателя) могут применяться и в узких створах.

Основной проблемой конструкций с плоским сектором-отражателем является сосредоточение расходов в местах примыкания сектора к направляющим стенкам, что способствует неравномерному распределению потока по ширине отводящего канала. С целью выравнивания удельных расходов и была на модели (диаметр водовода $d = 3,4$ см, расходы $Q = 0,67 \dots 2,44$ л/с, напоры $H = 35 \dots 60$ см) изучена работа концевых участков с различными видами секторов-отражателей.

Для сравнительной оценки работы были выбраны конструкции со схожими геометрическими параметрами:

- угол раструбности $\alpha = 90^\circ$ (для секторов);

Рис. 1. Варианты конструкций концевых участков: a — диск-отражатель, b — плоский горизонтальный сектор-отражатель, c — плоский наклонный сектор-отражатель, d — изогнутый сектор-отражатель

- относительный радиус секторов-отражателей в плане $R/d = 3,0$;
- относительный диаметр диска-отражателя в плане $D/d = 3,0$;
- угол наклона наклонного сектора-отражателя к горизонту и угол наклона изогнутого сектора-отражателя по центральной оси $\gamma = 30^\circ$.

В ходе исследований проведено несколько серий опытов, в которых определялись:

- длина отлета струи;
- очертания границ отлета струи в плане;
- распределение глубин потока по ширине прямоугольного канала;
- набегание струи на откосы канала, путем определения направления скоростей.

Сравнение по всем показателям проводилось при различных расходах и высотах расположения сектора-отражателя.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные результаты дают возможность назначить ширину отводящего канала, выявить необходимость крепления за концевым участком. Некоторые результаты исследований приведены в табл. 1.

Из данных таблицы видно, что наибольшую длину отлета струи при прочих равных условиях обеспечивает изогнутый сектор-отражатель при высоте стен равной нулю в продольном сечении концевой участка во всем диапазоне расходов и относительной высоты расположения сектора-отражателя.

Оценку растекания сходящей с гасителя-отражателя струи возможно сделать на основании плановых очертаний границ отлета струи (рис. 2). Данные границы получены, когда поток не был стеснен стенами отводящего канала и растекался по плоско-

сти дна лотка шириной, превышающей ширину раструбной конструкции на выходе в несколько раз.

Как видно на рис. 2, диск-отражатель формирует кольцевую струю с равными удельными расходами, которые имеют наименьшие значения среди сравниваемых конструкций, но за счет растекания потока на 360° струя занимает слишком много места в пространстве нижнего бьефа.

Выходящий из-под плоского горизонтального сектора-отражателя поток стеснен направляющими стенками, и по этой причине имеет концентрацию расхода в местах сопряжения стенок с сектором. Стоит отметить, что в условиях эксперимента расход проходит без отрыва потока от дна с образованием придонного вальца непосредственно в выходном сечении концевой участка.

У наклонного сектора-отражателя сходящая струя имеет примерно равную длину отлета в направлениях по радиусу, но при этом возможно возникновение сосредоточенных струй в местах примыкания сектора к направляющим стенкам конструкции.

Конструкция с изогнутым сектором-отражателем имеет меньшую ширину струи в зоне падения и большую дальность ее отлета, что обеспечивается за счет плавного сопряжения сектора с направляющими стенками. Более вытянутая форма струи говорит о снижении эффекта суммирования расходов (неравномерного распределения потока по ширине канала), который наблюдался при исследовании концевых участков с плоскими секторами.

Сравнивая конструкции по форме растекания струи, можно сделать вывод о месте расположения и размерах зоны крепления за концевым участком каждого вида. Контур очертаний границ струй, приведенные на рис. 2, также позволяют назначить длину направляющих стен за пределами сектора, устройство

Табл. 1. Зависимость длины отлета струи от относительной высоты расположения (t/d) сектора-отражателя и величины расхода гасителей-отражателей

Table 1. The dependence of the length of departure of the jet from the relative height of the location (t/d) of the sector of the reflector and the flow rate of dampers reflectors

t/d	Длина отлета струи L , см Length of departure of the jet L , cm															
	Q_1				Q_2				Q_3				Q_4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1,00	7,1	3,2	4,6	7,9	7,5	3,3	4,9	8,8	8,5	3,6	5,6	10,8	9,9	3,8	9,6	14,5
0,75	5,8	*	6,9	6,7	6,1	*	7,9	7,5	6,8	*	9,6	9,6	8,2	*	12,4	13,8
0,55	4,6	—	—	—	4,9	—	—	—	5,7	—	—	—	7,2	—	—	—
0,50	4,3	*	4,2	9,5	4,6	*	5,3	10,6	5,4	*	7,6	13,6	6,9	*	9,4	18,4
0,25	—	—	9,2	10,4	—	—	9,7	11,9	—	—	10,8	15,0	—	—	13,8	18,6
0,00	—	—	6,4	13,6	—	—	8,0	15,4	—	—	11,2	19,4	—	—	14,1	23,6

Примечание: значения расходов на модели: $Q_1 = 1,17$ л/с; $Q_2 = 1,25$ л/с; $Q_3 = 1,42$ л/с; $Q_4 = 1,64$ л/с;

* уровень воды в НБ превышал высоту сектора-отражателя

Note: values of costs on the model: $Q_1 = 1.17$ l/s; $Q_2 = 1.25$ l/s; $Q_3 = 1.42$ l/s; $Q_4 = 1.64$ l/s;

* the water level in the NB exceeded the height of the reflector sector

Рис. 2. Плановые очертания границ отлета струи в зависимости от расхода и высоты расположения гасителя-отражателя (размеры указаны в мм): *a* — диск-отражатель; *b* — плоский горизонтальный сектор-отражатель; *c* — изогнутый сектор-отражатель; *d* — плоский наклонный сектор-отражатель (30°)

Fig. 2. Planned outline of boundaries departure of the jet depending from expense and elevation dissipator-reflector (dimensions in mm): *a* — disk reflector; *b* — flat horizontal reflector sector; *c* — curved reflector sector; *d* — flat inclined reflector sector

которых обеспечивает лучшее сопряжение концевой участка с отводящим каналом. Наличие удлиненных ограничивающих стен способствует более равномерному распределению удельных расходов по ширине, уменьшая их концентрацию вдоль бортов канала.

ВЫВОДЫ

Наиболее эффективной в плане гашения энергии потока является конструкция с диском-отража-

телем за счет малых удельных расходов, обеспечиваемых большой длиной водосливной кромки. Наряду со столь весомым преимуществом указанная конструкция имеет и существенный недостаток — ее применение ограничено широкими створами.

Для узких створов из представленных гасителей лучше остальных показал себя изогнутый сектор-отражатель. Имея длину отлета струи в среднем в 2 раза превышающую длины отлета других сравниваемых конструкций, он обеспечивает безопасное

сопряжение в нижнем бьефе и относительно равномерное распределение потока по ширине канала.

Выявленные в процессе исследований условия работы, достоинства и недостатки концевых участ-

ков, рассмотренных конструкций, свидетельствуют о перспективности использования этих конструкций в практике гидротехнического строительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Храповский В.А., Шкуланов Е.И. Унифицированные конструкции сбросных сооружений на рисовых системах. Новочеркасск : НИМИ, 1975. 6 с.
2. Ибрагимов М.Х., Белоконов Е.Н. Реконструкция трубчатых сооружений с цилиндрическими насадками // Гидравлика сооружений оросительных систем и водотоков : сб. науч. тр. НИМИ. Новочеркасск, 1985. С. 48–52.
3. Белоконов Е.Н. Трубчатые сооружения с ковшовыми гасителями и их реконструкция // Гидротехнические сооружения мелиоративных систем : тр. НИМИ. Новочеркасск, 1974. Т. 15. Вып. 6. С. 123–131.
4. Костин А.И., Севостьянов Т.Н. Усовершенствование выходной части трубчатого сооружения // Гидротехника и мелиорация. 1957. С. 20–23.
5. Петров Г.А. Решетчатые гасители энергии // Гидротехническое строительство. 1959. № 9. С. 39–41.
6. Пат. РФ 2450103 МПК7 E02B8/06. Гаситель энергии потока / К.Н. Дужак, З.Г. Ламердонов; заявитель и патентообл. Кабардино-Балкарская государственная сельскохозяйственная академия; заявл. № 2010131514/13, 27.07.2010; опубл. 10.05.2012. Бюл. № 13.
7. Пат. SU 1608285 МПК E02B 8/06. Гаситель энергии водного потока / И.С. Румянцев, Е.Ф. Петров; заявл. № 4397633, 22.02.1988; опубл. 23.11.1990. Бюл. № 43.
8. Каганов Г.М., Румянцев И.С. Гидротехнические сооружения. М. : Энергоатомиздат, 1994. Вып. 1. С. 133–179.
9. Казиев Н.Ю. Трубчато-напорный перепад // Гидротехника и мелиорация. 1950. № 9. С. 77–79.
10. Цивьян Л.М. Водосбросные сооружения. М., 1972. Вып. 1.
11. Донный водоспуск, № 226156 кл 84 3/60 Австрия от 12.12.1961–1963 гг. (А. Grzywienski).
12. Пат. SU 1778224, МПК E02B 8/06. Водобойный колодец вертикального типа / В.П. Ягин, И.А. Давыдов, В.М. Горелова, В.В. Мик. Заявл. 4903246, 18.01.1991; опубл. 30.11.1992. Бюл. № 44.
13. Пат. SU 1786222, МПК E02B 8/06. Гаситель энергии потока / К.А. Григорян, Г.К. Акопян. Заявл. № 4845056, 04.09.1990; опубл. 07.01.1993. Бюл. № 1.
14. Wasserablauf einer staumauer, № 3208055 A1 кл E 02 B 8/06 (ФРГ).
15. Расуанандрасана М.Ж. Гидравлическое обоснование методов расчета и проектирования концевых участков напорных водопропускных сооружений с вертикально восходящим выходом потока : автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М. : Московский государственный университет природообустройства, 2010. 24 с.
16. Пат. РФ 2211279 МПК7 E02B8/06. Концевой участок напорного водопропускного сооружения / Б.М. Бахтин, М.Ж. Расуанандрасана; заявитель и патентообл. Московский государственный университет природообустройства. Заявл. № 2000129712/13, 27.11.2000; опубл. 27.08.2003. Бюл. № 24.
17. Пат. РФ 2341616 МПК7 E02B8/06. Концевой участок раструбного типа напорного водопропускного сооружения с вертикальным выпуском воды / Б.М. Бахтин, С.Г. Кузнецова; заявитель и патентообл. Московский государственный университет природообустройства. Заявл. № 2006147134/03, 29.12.2006; опубл. 20.12.2008. Бюл. № 35.
18. Пат. РФ на полезную модель 103814 МПК7 E02B8/06. Концевой участок раструбного типа с наклонно закрепленным отражающим сектором напорного водовода с вертикальным выпуском воды / Б.М. Бахтин, С.Г. Кузнецова; заявитель и патентообл. Московский государственный университет природообустройства. Заявл. № 2010105721/21, 19.02.2010; опубл. 27.04.2011. Бюл. № 12.

Поступила в редакцию 11 июня 2018 г.

Принята в доработанном виде 20 августа 2018 г.

Одобрена для публикации 20 сентября 2018 г.

О Б АВТОРАХ: Бахтин Бронислав Михайлович — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ — МСХА), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, bbakhtin@yandex.ru;

Михайлец Дмитрий Петрович — аспирант кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ — МСХА), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, mihaylets.d.p@yandex.ru;

Бушуев Дмитрий Андреевич — магистрант кафедры гидротехнических сооружений, Российский государственный аграрный университет — МСХА им. К.А. Тимирязева (РГАУ — МСХА), 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, bushuev.dmitry.a@gmail.com.

REFERENCES

1. Khrapkovskii V.A., Shkulanov E.I. *Unified constructions of spillways for rice systems*. Novochoerkassk, NIMI Publ., 1975; 6. (rus.).
2. Ibragimov M.H., Belokonev E.N. Reconstruction of tubular structures with cylindrical nozzles. *Hydraulic of irrigation systems and drains: collection of proceedings NIMI*. Novochoerkassk, 1985; 48-52. (rus.).
3. Belokonev E.N. Tubular constructions with bucket dissipators and their reconstruction. *Hydraulic structures of irrigation and drainage systems: Proc. NIMI*. Novochoerkassk, 1974; 15(6):123-131. (rus.).
4. Kostin A.I., Sevostyanov T.N. Improvement of the output part of the tubular construction. *Hydraulic engineering and reclamation*. 1957; 20-23. (rus.).
5. Petrov G.A. The lattice energy dissipators. *Hydraulic engineering*. 1959; 9:39-41. (rus.).
6. Pat. Russian Federation 2450103 IPC 7 E02B 8/06. Energy dissipater / K.N. Duzhak, Z.G. Lamerdonov; applicant and patentee Kabardino-Balkarskaya gosudarstvennaya sel'skokhozhajstvennaya akademija. No. 2010131514/13; appl. 27.07.2010; publ. 10.05.2012. Bul. No. 13.
7. Pat. SU 1608285 IPC E02B 8/06. The energy dissipator of water flow / I.S. Rumyancev, E.F. Petrov. No. 4397633, appl. 22.02.1988; publ. 23.11.1990. Bul. No. 43 (rus.).
8. Kaganov G.M., Rumyancev I.S. *Hydraulic engineering*. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1994; 1:133-179. (rus.).
9. Kaziev N.Yu. The pressure tubular drop. *Hydraulic engineering and reclamation*. 1950; 9:77-79. (rus.).
10. Civyan L.M. *Spillways*. Moscow, 1972; 1. (rus.).
11. Bottom water outlet, № 226156 kl 84 3/60 Avstriya ot 12.12.1961–1963 (A. Grzywienski).
12. Pat. SU 1778224 IPC E02B 8/06. Vertical stilling basin / V.P. Yagin, I.A. Davydov, V.M. Gorelova, V.V. Mik. No. 4903246, appl. 18.01.1991; publ. 30.11.1992. Bul. No. 44. (rus.).
13. Pat. SU 1786222 IPC E02V 8/06. The water energy dissipator / K.A. Grigoryan, G.K. Akopyan. No. 4845056, appl. 09.04.1990; publ. 07.01.1993. Bul. No. 1. (rus.).
14. Wasserablauf einer staumauer, № 3208055 A1 CL E 02 V 8/06 (Germany). (germ.).
15. Rasuanandrasana M.Zh. *Hydraulic substantiation of methods of calculation and design of end sections of pressure culverts with vertically upward flow exit: abstract of diss. candidate of technical Sciences*. Moscow, Moscow State University of Environmental Engineering, 2010; 24. (rus.).
16. Pat. Russian Federation 2211279 IPC7 E02B 8/06. The ending portion of the pressure tubular spillway / B.M. Bakhtin, J.M. Razanandrianina; applicant and patent owner Moscow State University of Environmental Engineering; No. 2000129712/13, appl. 27.11.2000; publ. 27.08.2003. Bul. No. 24. (rus.).
17. Pat. Russian Federation 2341616 IPC7 E02B 8/06. The ending portion of the pressure tubular spillway with vertical outlet for water / B.M. Bakhtin, S.G. Kuznetsova; applicant and patentee Moscow State University of Environmental Engineering (MSUEE). No. 2006147134/03, appl. 29.12.2006; publ. 20.12.2008. Bul. No. 35. (rus.).
18. Pat. Russian Federation for utility model 103814 IPC7 E02B 8/06. The ending portion of the pressure tubular spillway with inclined fixed reflecting sector penstock vertical outlet for water / B.M. Bakhtin, S.G. Kuznetsova; applicant and patentee Moscow State University of Environmental Engineering; appl. No. 2010105721/21 19.02.2010; publ. 27.04.2011. Bul. No. 12. (rus.).

Received June 11, 2018

Adopted in a modified form on August 20, 2018

Approved for publication September 20, 2018

ABOUT THE AUTHORS: **Bronislav M. Bakhtin** — doctor of technical science, professor, Department of Hydraulic Structures, **Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy**, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation, bbakhtin@yandex.ru;

Dmitriy P. Mikhaylets — post graduate student, Department of Hydraulic Structures, **Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy**, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation, mihaylets.d.p@yandex.ru;

Dmitriy A. Bushuev — master student, Department of Hydraulic Structures, **Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy**, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation, bushuev.dmitry.a@gmail.com.