

Оригинальная статья

УДК 502/504: 626.83:532.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-114-120

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ВОДОВЫПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ В НЕЗАТОПЛЕННОМ РЕЖИМЕ

ГУРЬЕВ АЛИМ ПЕТРОВИЧ[✉], д-р техн. наук, профессор
alim_guryev@mail.ru

ХАНОВ НАРТМИР ВЛАДИМИРОВИЧ[✉], д-р техн. наук, профессор
nvkhanov@yahoo.com

ХАЕК БУШРА, аспирант
bushra.hayek@gmail.com

НОВИЧЕНКО АНТОН ИГОРЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент
novichenko@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

Водовыпускное сооружение является важной составной частью мелиоративной насосной станции. Разработана конструкция телескопического водовыпускного сооружения, в статье представлен анализ гидравлических условий работы в незатопленном режиме. Предложен водовыпуск нового типа с отличительной особенностью наличия телескопического механизма, позволяющего размещаться в водоприемном бассейне, в голове магистрального канала оросительной системы, состоящий из двух коробчатых конструкций, соединенных между собой с возможностью перемещения относительно друг друга, что позволяет осуществлять выпуск воды в канал в незатопленном режиме. Приводятся детальное описание предлагаемого конструктива и некоторые предварительные расчеты, подтверждающие его работоспособность и эффективность функционирования. Для выполнения реальных расчетов телескопического водовыпуска следует рассмотреть параметры затопленной вертикально восходящей струи, а также определить оптимальные параметры периметра телескопического водовыпуска.

Ключевые слова: телескопические водовыпускные сооружения, незатопленная струя, мелиоративная насосная станция, сифонные водовыпуски, напорные трубопроводы, вертикально восходящая струя

Формат цитирования: Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Бушра, Новиченко А.И. Гидравлическое обоснование работы телескопического водовыпускного сооружения в незатопленном режиме // Природообустройство. – 2022. – № 5. – С. 114-120. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-114-120.

© Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Бушра, Новиченко А.И., 2022

Original article

HYDRAULIC SUBSTANTIATION OF THE TELESCOPIC OUTLET OPERATION IN NON-FLOODED MODE

GURYEV ALIM PETROVICH[✉], doctor of technical sciences professor
alim_guryev@mail.ru

KHANOV NARTMIR VLADIMIROVICH[✉], doctor of technical sciences professor
nvkhanov@yahoo.com

HAYEK BUSHRA, post graduate student
bushra.hayek@gmail.com

NOVICHENKO ANTON IGOREVICH, candidate of technical sciences, associate professor
novichenko@rgau-msha.ru

¹ Russian State Agrarian University – Moscow MAA named after C.A. Timiryazev, 127434, Moscow, Timiryazevskaya St., 49, Russia

The water outlet structure is an important component of a reclamation pumping station. The article develops the design of a telesgraphic water outlet structure and provides an analysis of hydraulic

operating conditions in non-flooded mode. The paper proposes a new type of water outlet with a distinctive feature of the presence of a telescopic mechanism that allows it to be placed in the water intake at the head of the main channel of the irrigation system and consists of two box structures connected to each other with the possibility of moving relative to each other, which allows the collection of carts in the non-flooded mode. The paper provides a detailed description of the proposed design and some preliminary, but confirming its operability and efficiency of functioning, are carried out. To perform real calculations of the telescopic water outlet, it is necessary to consider the parameters of the flooded vertically ascending jet, as well as to determine the optimal parameters of the perimeter of the telescopic water outlet.

Keywords: *telescopic water outlets, non-flooded jet, reclamation pumping station, siphon water outlets, pressure pipelines, vertically ascending jet*

Format of citation: *Guryev A.P., Khanov N.V., Hayek, Novichenko A.I. Hydraulic substantiation of the telescopic outlet operation in non-flooded mode // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 5. – P. 114-120. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-5-114-120.*

Введение. Насосные станции, подающие и пополняющие водный ресурс на гидро-мелиоративные объекты, могут иметь гигантские объемы расхода воды, являются весьма затратными и столь же необходимыми для решения задач сельского хозяйства по обеспечению продовольственного благополучия страны.

При проектировании мелиоративных систем с мощными напорными трубопроводами и насосными станциями особое внимание уделяется мероприятиям и конструктивным решениям по снижению гидравлических потерь на всех участках активных систем водоподачи, что дает существенный экономический эффект за счет снижения энергопотребления. Однако в ряде случаев возникают перебои с электропитанием приводов насосных станций, что приводит к существенным экономическим потерям воды из мелиоративной системы в силу обратного тока. Это является чрезвычайно опасным режимом работы гидроагрегата, что не только вызывает его ускоренный износ, но может послужить и причиной его полного разрушения.

В процессе разработки проектов насосных станций проблема решается применением соответствующих конструкторских и проектных задач увязки водовыпускных сооружений, имеющих сопряжения напорных водоводов с мелиоративными каналами, либо снабжением их соответствующими решениями.

Материалы и методы исследований.

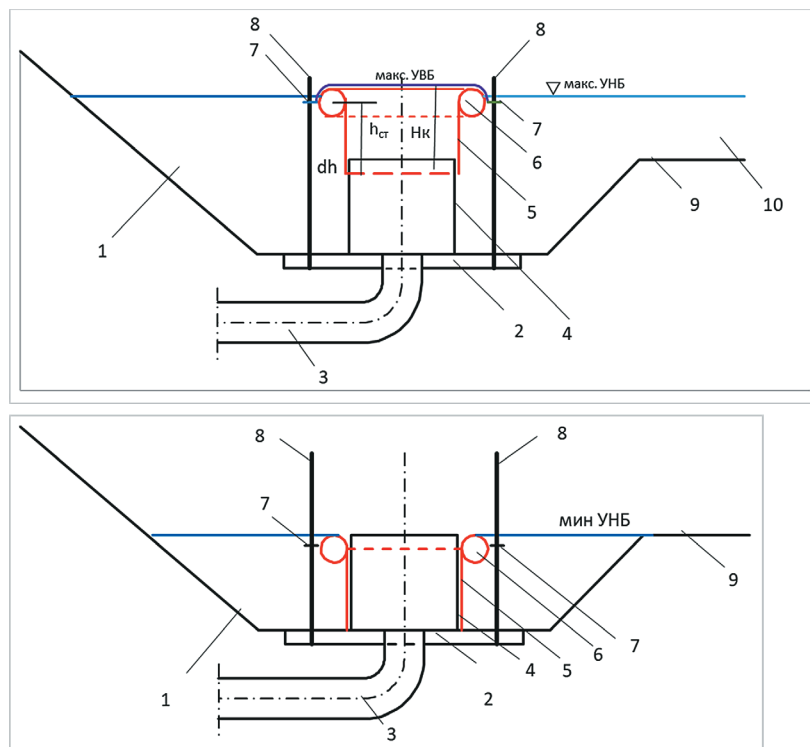
С целью оптимизации конструкции водовыпускного сооружения мелиоративной насосной станции на кафедре гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева разработана конструкция телескопического водовыпуска. Конструкция предлагаемого водовыпускного сооружения поясняется чертежом, представленным на рисунке 1.

Водовыпуск телескопического типа размещается в водоприемной камере, в голове

магистрального канала оросительной системы, и состоит из двух коробчатых конструкций, соединенных с возможностью телескопического перемещения относительно друг друга. На дне камеры устанавливается бетонная плита, служащая основанием водовыпуска. На плите жестко прикреплен короб. Второй короб с возможностью перемещения установлен по вертикали, вдоль направляющих элементов первого короба. Для этого к верхнему ребру подвижного короба по периметру прикреплены полые трубы (поплавочная система), выполненные из герметично соединенных между собой отрезков труб, подъемная сила которых уравнивает вес короба [1].

Вода в нижний короб поступает из концевой участка напорного трубопровода, выполненного вертикально и закрепленного в бетонном основании нижнего короба. Для предотвращения прижатия стенок подвижного короба к стенкам неподвижного короба (и тем самым – создания дополнительного сопротивления трения перемещению короба) по углам короба прикреплены петли, жестко закрепленные на коробе и свободно перемещающиеся по вертикально установленным направляющим штангам, жестко заделанные в основание.

Работает водовыпускное сооружение следующим образом. При неработающей насосной станции в приемном канале будет отсутствовать вода, а в водоприемной камере установится уровень воды, соответствующий отметке дна канала. При этом гребень поплавков не должен располагаться ниже этого уровня воды. При такой конструкции водовыпуска струя, выходящая из напорного трубопровода, является аналогом фонтанной струи [1], работающей в режиме затопления. Поскольку описание работы такой конструкции водовыпуска в литературе отсутствует, необходимо изучить физику явлений, происходящих при вытекании воды из напорного трубопровода в телескопический водовыпуск.



1а – продольный разрез по оси напорного трубопровода водовыпускного сооружения при максимальном уровне воды в канале

1a – a longitudinal section along the axis of the pressure pipeline of the water outlet at the maximum water level in the channel

1б – продольный разрез по оси напорного трубопровода водовыпускного сооружения при минимальном уровне воды в канале

1b – is a longitudinal section along the axis of the pressure pipeline of the water outlet structure with a minimum water level in the channel

Рис. 1. Конструкция телескопического водовыпускного сооружения:

- 1 – водоприёмная камера в голове магистрального канала;
 2 – бетонная плита – основание водовыпуска; 3 – напорный трубопровод;
 4 – жестко закреплённый короб; 5 – подвижной короб; 6 – полые трубы (поплавочная система);
 7 – петли, закреплённые на подвижном коробе 8 – направляющие штанги;
 9 – дно магистрального канала; 10 – наполнение канала при максимальном расходе

Fig. 1. Design of a telescopic water outlet structure:

- 1 – water intake chamber at the head of the main channel; 2 – concrete slab – a base of the outlet; 3 – pressure pipeline;
 4 – rigidly fixed box; 5 – movable box; 6 – hollow pipes (float system); 7 – hinges fixed on the movable box; 8 – guide rods;
 9 – bottom of the main channel; 10 – channel filling at the maximum flow rate

Гидравлический анализ работы телескопического водовыпускного сооружения мелиоративной насосной станции в незатопленном режиме. Водовыпускное сооружение мелиоративной насосной станции располагается на концевом участке тракте водоподачи, питающего оросительную систему. К настоящему времени в водовыпускных сооружениях оправдали себя в основном два типа конструкций, предотвращающих возвратный ток воды в напорном трубопроводе при аварийном отключении энергопитания электродвигателей насосных установок: сооружения с запорными устройствами механического действия и сифонные водовыпуски [2]. Эти сооружения должны обеспечить автоматическое предотвращение обратного течения тока воды из водоприемника по напорным трубопроводам при отключении насосных агрегатов, причем при проектировании потребность в обеспечении минимальных гидравлических потерь уходит на второй план. Но эти потери в водовыпусках клапанного типа весьма велики и со временем возрастают, особенно после многих лет эксплуатации.

Поэтому в последнее время получило широкое распространение применение водовыпусков сифонного типа, имеющих меньшие гидравлические потери, несмотря на то, что их сооружение требует больших материальных затрат [3, 1].

Рассмотрим расчеты параметры струи, выходящей из напорного трубопровода аналогично струе фонтана. Особенностью работы рассматриваемой струи водовыпуска сооружения является возможность ее формирования как свободной, затопленной или подтопленной струи, в зависимости от заполненности водой коробов водовыпускного сооружения.

Приведем расчетные зависимости некоторых авторов по определению высоты подъема струи фонтана, основанные на экспериментальных данных. Так, П.А. Спышновым для определения высоты H фонтана были рекомендованы две формулы [4]:

– Люгера для диаметров струи $d = 10...30$ мм

$$H = \frac{s_0}{1 + \varphi \cdot s_0}, \quad (1)$$

где
$$\varphi = \frac{0,25}{d + (0,1 \cdot d)^3} \quad (2)$$

– Фримана для диаметров струи d , м

$$H = \left(1 - 0,000113 \cdot \frac{s_o}{d}\right) \cdot s_o \quad (3)$$

Существует также ряд аналогичных формул для расчета высоты струи. Например, Кох и Карстаньен [5] приводят формулы:

– Мариотта [5], который еще в 1686 г. предложил экспериментальную формулу для расчета высоты H подъема струи:

$$H = \frac{s_o}{1 + 0,0103 \cdot s_o} \quad (4)$$

– Вейсбаха [5], в 1848 г. предложившего экспериментальную формулу для расчета высоты H подъема струи:

$$H = \frac{s_o}{1 + 0,01158 \cdot s_o + 0,000582 \cdot s_o^2} \text{ для } d = 1 \text{ см} \quad (5)$$

$$H = \frac{s_o}{1 + 0,00778 \cdot s_o + 0,0006038 \cdot s_o^2} \text{ для } d = 1,41 \text{ см} \quad (6)$$

– Д'Аубуиссона, упростившего формулу Мариотта [9]:

$$H = (1 - 0,01 \cdot s_o) \cdot s_o \quad (7)$$

По нашему мнению, в работе Коха и Карстаньена [5] расчет параметров вертикальных водометов рассмотрен наиболее подробно и физически обоснованно с теоретической стороны.

Согласно видениям Коха [5] вертикальный поток [1] можно представить как струю во внешней оболочке и как спадающий по периметру верхнего сечения ствола, скорость которого падает по мере удаления от выходного сечения сопла. Исходя из принципа неразрывности потока сечение струи при этом увеличивается [5]. В таблице приведены параметры вертикально восходящей струи с радиусом $r_o = 0,2$ м при скорости истечения $V_o = 18$ м/с [6].

По данным Коха [5], в зависимости от соотношения радиуса сопла струи r_o и скоростного напора $s_i = \frac{V_i^2}{2g}$ возможны три формы шапки струи, схематичное очертание которых приведено на рисунке 2.

Таблица

**Расчеты параметров ствола струи
с начальным радиусом $r_o = 0,2$ м при скорости $V_o = 18$ м/с**

Table

**Calculations of the parameters of the jet stem
with an initial radius of $r_o = 0.2$ m at a speed $V_o = 18$ m / s**

$v, \text{ м/с}$ $v, \text{ m / s}$	v/v_o	Скоростной напор в сечении на высоте y <i>Velocity head in cross-section at height y</i>	Высота подъема отдельной призмочки <i>Lifting height of a single prism</i>	Высота подъема отдельной струйки <i>Lifting height of a single stream</i>	Отношение высот подъема <i>Ratio of lifting heights</i>	Высота линии энергии <i>Energy line height</i>	Потери энергии <i>Energy loss</i>	Радиус поперечного сечения струи на высоте <i>Cross-sectional radius of the jet at height</i>	Тангенс угла наклона к оси касательной к внешней границе (оболочки) струи <i>Tangent of the angle of inclination to the axis tangent to the outer boundary (shell) of the jet</i>
$v, \text{ м/с}$	v/v_o	$S, \text{ м}$	$so - s, \text{ м}$	$y = \frac{2}{3} \times \left(s_o - \frac{v}{v_o} \cdot s\right)$	$\frac{y}{s_o - s}$	$y + s, \text{ м}$	$\Delta s_o = so - (y + s)$	r	$\text{tg} \varphi$
$v_o = 18$	1.0	$so = 16,51$	0	0	0,0	16,51	0	0,200	0,003
15	5/6	11,47	5,04	4,64	0,921	16,11	0,40	0,219	0,006
12	2/3	7,34	9,17	7,75	0,845	15,09	1,42	0,245	0,0125
9	1/2	4,13	12,38	9,63	0,778	13,76	2,57	0,283	0,0345
6	1/3	1,83	14,68	10,60	0,722	12,43	4,08	0,346	0,143
3	1/6	0,46	16,05	10,96	0,683	11,42	5,09	0,49	1,600
2	1/9	0,20	16,31	11,01	0,675	11,21	5,30	0,600	7,0
1	1/8	0,05	16,46	11,01	0,669	11,06	5,45	0,848	76,1
0	0	0	16,51	11,01	0,667	11,01	5,46	∞	∞

Как следует из рисунка 2, когда вода выходит с малой скоростью из сопла при соотношении $s_o \leq r_o$ [6], непосредственно над его

выходным сечением образуется грибоподобная шапка. А когда напор воды увеличивается при соотношении $s_o > r_o$, образуются ствол

струи и грибообразная шапка. При очень больших напорах и при высоте ствола струи, многократно превосходящих радиус сопла при соотношении $s \gg r$, формирование струи происходит с захватом струей воздуха

и распадом сплошности поверхности ствола струи, в результате чего шапка струи напоминает сноп. Однако каких-либо конкретных границ формообразования шапки струи Кох не показал.

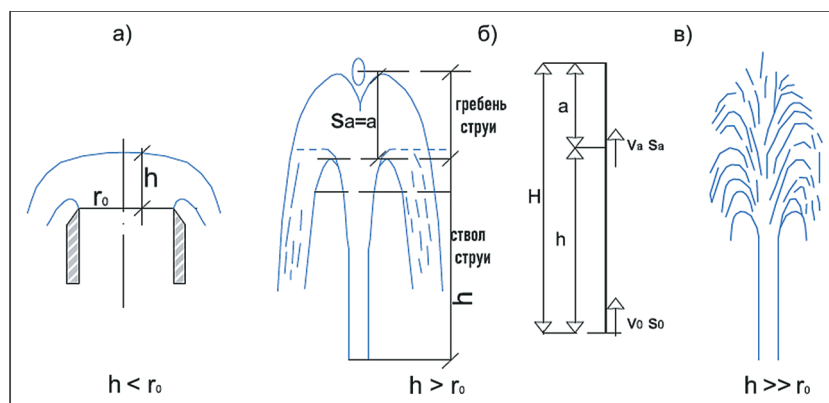


Рис. 2. Формы струи в зависимости от величины начального напора [6]

Fig. 2. Jet shapes depending on the initial head value [6]

Представляет интерес формирование струи по типу «а» и «б» (рис. 2).

По мере подъема струи [5] вертикальная скорость начинает уменьшаться, а в ее поперечных сечениях диаметр струи увеличивается в силу закона неразрывности потока. При этом наступает момент, когда силы инерции подъема струи уменьшаются настолько, что уже не могут противостоять силам тяжести, и растекающаяся струя начинает возвратное движение вниз, образуя шапку над восходящим участком струи.

Если же рассматривать оболочку струи как упругую поверхность, то сечение возврата

ее движения можно условно рассматривать как ребро кольцевого водослива с острой кромкой. Воспользовавшись относительными координатами верхней и нижней поверхности струи [2], построили границы струи как потока на водосливе с острой кромкой. На рисунке 3 приведена схема очертания фонтанной струи по Коху [5] при $s_0 > r_0$ для примера, приведенного в таблице 1.

На рисунке 3а показан профиль струи по расчетам Коха, а на рисунке 3б – профиль струи, подсчитанной по координатам Базена, как струи, переливающейся через кольцевой водослив с острой кромкой.

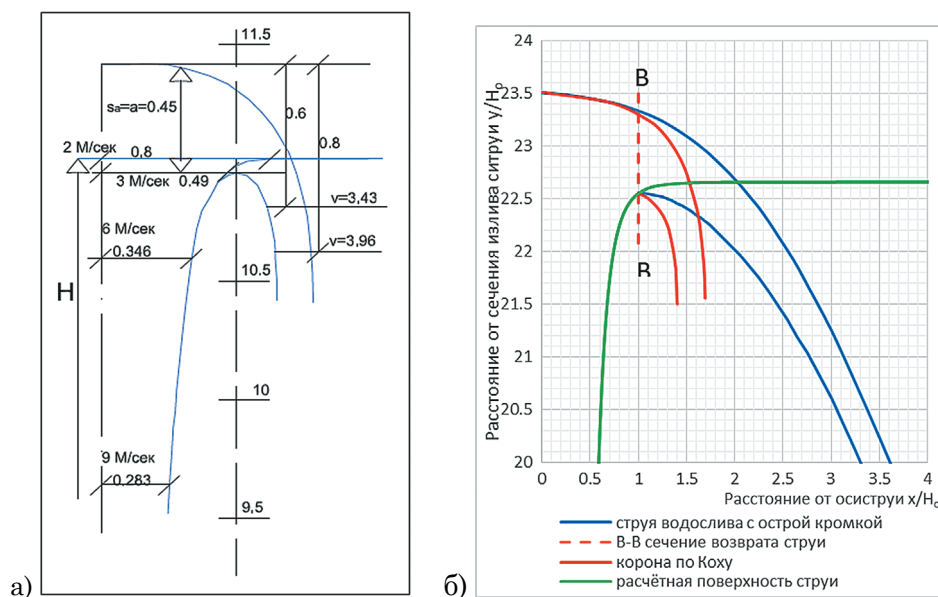


Рис. 3. Формирование шапки на вершине вертикальной струи:

а – по Коху [6]; б – с учетом истечения воды из шапки, как через кольцевой водослив

Fig. 3. Formation of the cap at the top of the vertical jet:

a – according to Koch [6]; б – taking into account the outflow of water from the cap as through the annular spillway

Как следует из рисунка 3б, очертания струй по Коху и как водосливной струи вне ее границ резко различаются. Из литературы, посвященной вопросам расчета параметров струи [4, 7-11], не удалось обнаружить материалы, посвященные формированию шапки вертикально восходящей струи. Принимая за основу расчет параметров по Коху, изложенный выше, логически можно предположить, что высота подъема струи над сечением возврата струи (величина $s_a = a$ согласно рисунку 3а) должна равняться напору H_o над сечением возврата струи. Высота y подъема шапки струи над сечением определяется величиной скоростного напора $s_y = \frac{V_y^2}{2g} = a$. Координата шапки по оси струи определится как $y_o = y + a$. С другой стороны, если принимать $a = H_o$ напору, необходимому для пропуска через кольцевой водослив радиусом r , из уравнения расхода получается, что

$$Q = m \cdot B \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^3} = Q = 2 \cdot \pi \cdot m \cdot r \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^3}. \quad (8)$$

Определив из (8) величину напора H , можем построить линию $y + H = f(r)$. С другой стороны, гребень шапки струи определяется как $y + a = F(r)$. Таким образом, точка пересечения этих линий даст положение сечения возврата струи, радиус этого сечения и высоту подъема струи.

На рисунке 4 представлены результаты расчета параметров струй с $r_o = 0,6$ м для варианта $a > H_o$ при $V_o = 4,5$ м/с, для варианта $a = H_o$ при $V_o = 3,745$ м/с и для варианта с $V_o = 3,0$ м/с, [6], при котором $a < H_o$.

В результате с уменьшением начальной скорости струи V_o уменьшается величина скоростного напора s_o . Таким образом, резко уменьшается начальная скорость, и тем более скоростной напор s_h уменьшается в сечении на высоте h выходного сечения сопла.

Затем наступает момент, когда скоростного напора s_h не хватает для формирования

напора H_o , необходимого для истечения расхода Q через периметр поперечного сечения с радиусом r_h , на высоте h возврата струи.

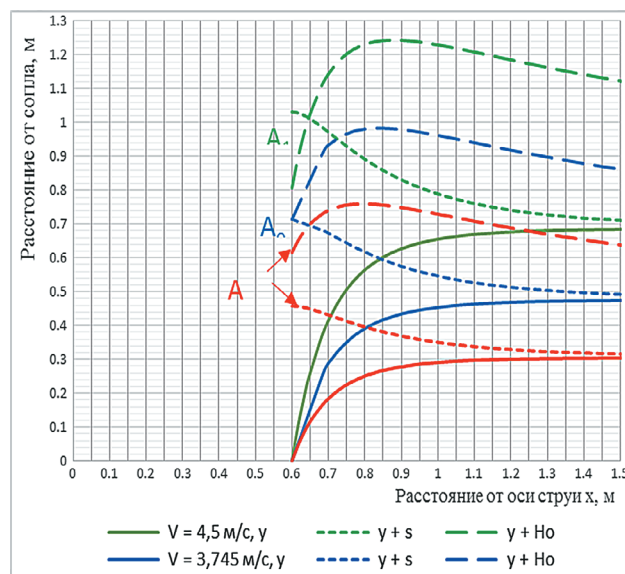


Рис. 4. Результаты расчета параметров струи с $r_o = 0,6$ м

Fig. 4. Results of calculation of jet parameters with $r_o = 0.6$ m

Выводы

1. Предложенная к рассмотрению конструкция телескопического водовыпуска обладает простотой обратного клапана, надежностью и минимальными потерями сифонного водовыпуска.
2. Для выполнения реальных расчетов телескопического водовыпуска следует рассмотреть параметры затопленной, вертикально восходящей струи.
3. Необходимо определить оптимальные параметры периметра телескопического водовыпуска.
4. Необходимо определить параметры шапки водовыпуска при минимальной скорости потока в трубопроводе.

References

1. Gurjev A.P., Khanov N.V., Hayek B. Teoreticheskie raschyoty parametrov strui teleskopicheskogo vodovypuska meliorativnoj nasosnoj stantsii / Sb. nauchn. Tr. T. 1. – M.: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2021. – 383-362.
2. Kiselev P.G. Spravochnik po gidravlicheskim raschetam. – M.: Energiya, 1972. – 312 s.
3. Elektronnyj resurs <https://fontan.city/>
4. Spyshnov P.A. Fontany: Opisanie, konstruktsii, raschet. – M.: Gos. izd-vo arhitektury i gradostroitelstva, 1950. – 174 s.
5. Kox A., Karstanjen M. Osnovy prakticheskoy gidrodinamiki. – M.: L.: 1933. – 195 s.
6. Spravochnik po podboru chugunnyh trub s sharovidnym grafitom firmy «Pont-a-Muson». Franse. 1993.

7. Хаек Б.А. Теоретическое обоснование оптимальных параметров водовыпускного сооружения мелиоративных насосных станций / Сб. науч. тр. т. 2. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2020. – С. 385-362.

8. Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Золотаревский А.А. Гидротехнические мелиорации. Учебник для вузов, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2021. – 317 с.

9. Шошин В.И., Прутской А.В. Гидротехнические мелиорации: методические указания к выполнению практических занятий. – Брянск: БГИТА, 2011. – 26 с.

10. Электронный ресурс <https://studme.org> › география › raschet_struy. Гидротехнические мелиорации. Расчет струй.

11. Справочник. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 4. Сооружения: / Под ред. П.А. Полад-заде. – М.: Агропромиздат, 1987. – 464 с.

Критерии авторства

Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Бушра, Новиченко А.И. выполнили теоретические и экспериментальные исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Бушра, Новиченко А.И. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Статья поступила в редакцию 26.09.2022

Одобрена после рецензирования 18.10.2022

Принята к публикации 25.10.2022

7. Xayek B.A. Teoreticheskoe obosnovanie optimalnyh parametrov vodovy-puskного sooruzheniya meliorativnyh nasosnyh stantsij / Sb. nauchn. Tr. T. 2. – M.: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2020. – S. 385-362.

8. Teodoronskij V.S., Sabo E.D., Zolotarevskij A.A. Gidrotehnicheskie melioratsii. Uchebnik dlya vuzov, 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Yurajt, 2021. – 317 s.

9. Shoshin V.I., Prutskoj A.V. Gidrotehnicheskie melioratsii: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu prakticheskikh zanyatij. – Bryansk: BGITA, 2011. – 26 s.

10. Elektronnyj resurs <https://studme.org> › geografiya › raschet_struy. Gidrotehnicheskie melioratsii. Raschet struj.

11. Melioratsiya i vodnoe hozyajstvo. T. 4. Sooruzheniya: spravochnik. / Pod red. P.A. Polad-zade. – M.: Agropromizdat, 1987. – 464 s.

Criteria of Authorship

Guryev A.P., Khanov N.V., Hayek Bushra, Novichenko A.I. performed theoretical and experimental research, on the basis of which they conducted a generalization and wrote the manuscript. Guryev A.P., Khanov N.V., Hayek Bushra, Novichenko A.I. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 26.09.2022

Approved after reviewing 18.10.2022

Accepted for publication 25.10.2022