

Оригинальная статья

УДК 626.83:532.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53



ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ВОДОВЫПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ С КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИМ ПОПЛАВКОМ

Хаек Бушра, аспирантка

bushra.hayek@gmail.com

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

Аннотация. Цель исследований – совершенствование конструкции водовыпускного сооружения, расчет водовыпуска телескопического типа с круглоцилиндрическим поплавком и определение диаметра поплавка подвижного короба при заданных параметрах, который должен обеспечивать надежность его статического положения при всех возможных гидравлических режимах работы как водослива с круглоцилиндрическим оголовком с подвижным положением гребня в зависимости от уровня воды в приемном магистральном канале. Представлена разработанная конструкция водовыпускного сооружения переливного водовыпускного сооружения телескопического типа, обладающая простотой конструкции, надежностью в эксплуатации, строительной дешевизной при минимальных гидравлических потерях. Представлены результаты теоретических исследований предлагаемой конструкции телескопического водовыпускного сооружения, рассмотрены 3 варианта работы подвижного короба. Из приведенных расчетов, определяющим диаметром поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода. Получены следующие расчетные диаметры поплавка: $d_{\text{non}} = 0,1279$ м; $d_{\text{non}} = 0,0808$ м; $d_{\text{non}} = 0,315$ м. Имеется возможность использовать стандартные трубы из ПВХ. Ближайший больший стандартный наружный диаметр составляет 355,0 мм. Учитывая простоту конструкции водовыпуска телескопического типа, его можно изготовить в условиях механических мастерских строительных организаций.

Ключевые слова: телескопические водовыпускные сооружения, круглоцилиндрический поплавок, трубы ПВХ

Формат цитирования: Хаек Бушра. Теоретическое обоснование параметров телескопического водовыпускного сооружения с круглоцилиндрическим поплавком // Природообустройство. 2023. № 1. С. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53.

© Хаек Бушра, 2023

Original article

THEORETICAL SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF A TELESCOPIC WATER OUTLET STRUCTURE WITH A CIRCULAR CYLINDRICAL FLOAT

Hayek Bushra, post graduate student

bushra.hayek@gmail.com

Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev», 127454, Moscow, Pryanishnikova, 19, Russian Federation

Annotation. The purpose of the research is to improve the design of a water outlet, to calculate a telescopic outlet with a round-cylindrical float and determining the diameter of the movable box float with the given parameters, which should ensure the reliability of its static position in all possible hydraulic modes of operation as a spillway with a round-cylindrical cap with a movable position of the crest, depending from the water level in the receiving main canal. The article presents the developed design of the outlet structure of the overflow outlet structure of the telescopic type, which has a simple design, reliability in operation, structural design with minimal hydraulic losses. The paper shows the results of theoretical studies of the proposed design of a telescopic outlet structure, three variants have been considered for the operation of the movable box, from the above calculations, the defining diameter of the float is the mode with water overflowing through it when the maximum flow rate of the pipeline is supplied. The following calculated diameters of the float were obtained; $d_{\text{flo}} = 0.1279$ m, $d_{\text{fl}} = 0.0808$ m

and $d_{pu} = 0.315\text{m}$. It is possible to use standard PVC pipes, the nearest larger standard outer diameter is $d = 0.355\text{ mm}$. considering the simplicity of the design of the telescopic type water outlet, it can be manufactured in the conditions of mechanical workshops of construction organizations.

Keywords: telescopic outlet structures, round-cylindrical float, PVC pipes

Format of citation: Hayek Bushra. Theoretical substantiation of the parameters of a telescopic water outlet structure with a circular cylindrical float // Prirodoobustroystvo. 2023. No.1. S. 47-53. DOI: 10.26897/1997-6011-2023-1-47-53.

Введение. Водовыпускное сооружение мелиоративной насосной станции является одним из важнейших конструктивных элементов насосной станции с машинным подъемом воды. Для снижения гидравлических потерь энергии, снижения строительной стоимости расходов электроэнергии на подачу воды в оросительную сеть происходит постоянное совершенствование конструкций водовыпускных сооружений [1].

С целью дальнейшего совершенствования водовыпускного сооружения разработана новая конструкция водовыпуска телескопического типа [2], представленная на рисунке 1, с поплавком круглоцилиндрического поперечного сечения. На рисунке 1а показан продольный разрез при максимальном уровне воды в водоприемном бассейне, на рисунке 1б – продольный разрез при полностью опорожненном водоприемном несаморегулирующемся канале [3, 4] и напорном водоводе, на рисунке 1в – план телескопического водовыпуска.

Телескопический водовыпуск расположен в водоприемном бассейне 1, в голове магистрального канала гидромелиоративной системы, имеющего максимальный макс. УНБ и минимальный мин. УНБ уровень воды, определяемые графиком орошения сельскохозяйственных культур системы [4].

В практике применения линейных поплавковых конструкций при решении различных технических задач применяются в основном поплавки с круглоцилиндрическим поперечным сечением. Примером таких поплавков могут служить боновые заграждения на ГЭС для защиты водоприемников от плавающего мусора, боновые заграждения для защиты акваторий от загрязнения воды нефтепродуктами при аварии морских скважин и нефтеперевозящих судов и др. Поэтому применение круглоцилиндрических поплавков в рассматриваемой конструкции водовыпускного сооружения насосной станции придает ей определенную простоту. Однако несмотря на кажущуюся конструктивную простоту, конструкция поплавков с круглоцилиндрическим поперечным сечением обладает одним существенным недостатком: априори можно сказать, что сложно подобрать трубы требуемого по расчету

диаметра, а ввиду штучного производства водовыпусков телескопического типа организация изготовления труб для поплавков расчетного диаметра затруднительна. С учетом этих обстоятельств ниже рассмотрены расчеты поплавков с круглоцилиндрическим поперечным сечением.

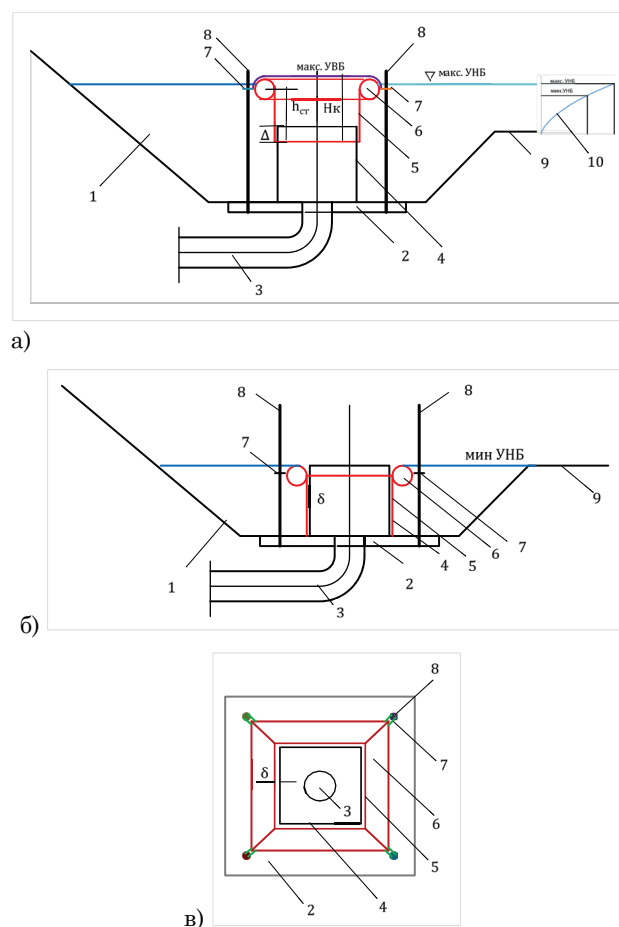


Рис. 1. Принципиальная конструкция водовыпуска телескопического типа:
а – продольный разрез при максимальном уровне воды в водоприемном бассейне;
б – продольный разрез при полностью опорожненном водоприемном канале и напорном водоводе; в – план конструкции

Fig. 1. The principal design of the water outlet of the telescopic type:
а – longitudinal section at the maximum water level in the water intake basin;
б – longitudinal section with a fully emptied water intake channel and a pressure conduit;
в – design plan

Материалы и методы исследований.

С целью разработки конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа с круглоцилиндрическим поплавком задача гидравлических расчетов телескопического водовыпуска заключается в определении его геометрических параметров, требуемого диаметра поплавка и в рассмотрении гидравлических режимов его работы.

Таким образом, при работе телескопического водовыпуска возможны 3 гидравлических режима:

1-й режим – перелив отсутствует, коробки опорожнены;

2-й режим – перелив отсутствует, коробки заполнены водой до гребня поплавка;

3-й режим – происходит перелив воды из подвижного короба через гребень поплавка.

Гидростатические расчеты подвижного короба будут заключаться в определении диаметра поплавка, обеспечивающего равновесие его подъемной силы и сил тяжести конструктивных элементов подвижного короба, действующих вниз.

Режим отсутствия перелива при опорожненном водовыпуске. Этот режим возможен в случае остановки насоса на профилактическое обслуживание. Для расчета равновесия при этом режиме воспользуемся схемой рисунка 1б. Для дальнейших расчетов примем следующие обозначения.

За предельное равновесие подвижного короба примем условие его плавания при опорожненном водовыпуске, когда вода в магистральном канале будет отсутствовать, а в водоприемном отсеке уровень воды будет находиться на уровне гребня поплавка на отметке дна канала. Условие равновесия подвижного короба в этом случае примет вид:

$$\Sigma G_k = \gamma \cdot W_{\text{п}}, \quad (1)$$

где ΣG_k – сумма весов подвижного короба с поплавком; W – объем, вытесняемый поплавком воды; γ – плотность воды.

Как следует из рисунка по 1б, полная высота короба H_k составит:

$$H_k = h_k + \frac{d_{\text{поп}}}{2}, \quad (2)$$

Объем стенок короба V_k определим из выражения (пренебрегая малыми величинами высших порядков):

$$V_k = [B^2 - (B - 2 \cdot t_{\text{ст}})^2] \cdot H_k = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_k, \quad (3)$$

и соответственно вес стенок подвижного короба G_k составит:

$$G_k = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}}. \quad (4)$$

Длина поплавка по гребню $l_{\text{п}}$ составит:

$$l_{\text{п}} = 4 \cdot (B + d_{\text{поп}}), \quad (5)$$

$$\text{а его вес} - G_{\text{п}} = 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}}, \quad (6)$$

Примем конструктивно вес колец, соединяющих подвижной короб с направляющими стойкам $g_{\text{кол}} = 2 \text{ кг} = 0,002 \text{ т.с.}$ Тогда суммарный вес подвижного короба составит:

$$\Sigma G = 4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,002. \quad (7)$$

В статическом положении при опорожненном водовыпускном устройстве в предельном положении гребень поплавка должен находиться на уровне горизонта воды в канале в случае саморегулирующегося канала или на уровне дна, как показано на рисунке 1б, – в случае несаморегулирующегося канала.

Суммарный вес элементов подвижного короба должен уравниваться подъемной силой поплавка $\gamma W_{\text{поп}}$, которая в этом случае будет определяться по выражению:

$$\gamma \cdot W_{\text{поп}} = \gamma \cdot l_{\text{п}} \cdot \left(\frac{3}{4} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d_{\text{поп}}^2 + \frac{d_{\text{поп}}^2}{4} \right) = \left(\frac{3 \cdot \pi}{4} + 1 \right) \cdot \frac{d_{\text{поп}}^2}{4} \cdot 4 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma = 3,355 \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma, \quad (8)$$

где $\gamma = 1 \text{ т/м}^3$ – плотность воды.

Приравнявая (7) и (8), получим выражение для определения требуемого диаметра поплавка:

$$4 \cdot (B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,002 = 3,355 \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma, \quad (9)$$

откуда получаем

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_k \cdot \gamma_{\text{ст}} + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + 0,0005}{3,355 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma}}. \quad (10)$$

Уравнение (10) не имеет аналитического решения в общем виде, поэтому его следует решать либо графоаналитически, либо методом последовательных приближений для конкретных значений параметров.

Ниже рассмотрен пример решения уравнения (10) применительно к водовыпускному сооружению телескопического типа насосной станции с расходом $3 \text{ м}^3/\text{с}$ и с напорным трубопроводом $D = 1,2 \text{ м}$.

В соответствии с изложенной методикой расчета параметров подвижного короба водовыпускного сооружения имеем следующие показатели:

– ширина стороны короба по внешнему обводу $B = 2D = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ м}$;

– толщина стенок подвижного короба $t_{\text{ст}} = 0,006 \text{ м}$;

– высота стенок подвижного короба $H_k = 1,2 \text{ м}$;

- плотность материала стенок $\gamma_{ст} = 1,4 \text{ т/м}^3$ [6];
- G_k – вес стенок подвижного короба;
- толщина стенок поплавок $t_{п} = 0,006 \text{ м}$;
- плотность материала поплавок $\gamma_{поп} = 1,4 \text{ т/м}^3$ [5].

Подставляя исходные данные в уравнение (10), получаем численное выражение для определения диаметра поплавок:

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 1,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0264 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}} \quad (11)$$

На рисунке 2 приведено графоаналитическое решение уравнения (11) для расчета диаметра поплавок при опорожненном водовыпуске.

В результате решения уравнения (11) получаем требуемый диаметр поплавок: $d_{п} = 0,128 \text{ м}$.

Гидростатические расчеты плавания подвижного короба при его заполнении водой и отсутствии перелива. При пуске насосного агрегата начнется заполнение водой напорного трубопровода и телескопического водовыпуска. По мере подъема воды в камере подвижного короба будет возникать выталкивающая Архимедова сила, действующая на его стенки. Максимальной величины она достигнет при подъеме уровня воды в подвижном коробе до уровня гребня поплавок. При этом одновременно с появлением выталкивающей силы, действующей на стенки короба, исчезнет добавочная выталкивающая гидростатическая сила давления воды, действующая на четверть поплавок, прикрепленного к коробу.

Уравнение равновесия подвижного короба в этом случае будет также иметь вид, определяемый в общем виде уравнением (1).

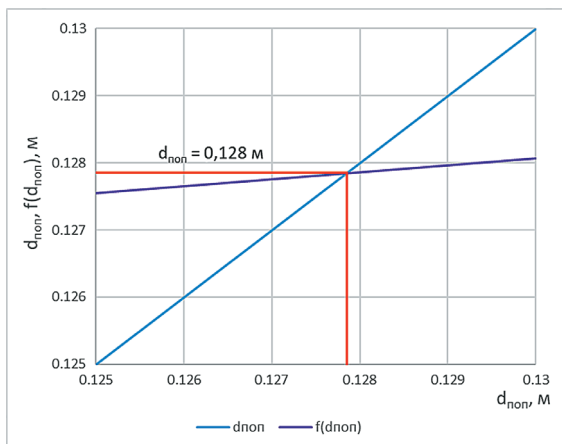


Рис. 2. Результаты графоаналитического решения уравнения (11)

Fig. 2. Results of graphoanalytical solution of the equation (11)

Раскрывая это уравнение скорректированными уравнениями (7) и (8), получим выражение для определения требуемого диаметра поплавок при данном расчетном режиме равновесия:

$$4 \cdot (B - t_{ст}) \cdot t_{ст} \cdot h_k \cdot (\gamma_{ст} - 1) + 4 \cdot \pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot t_{п} \cdot \gamma_{поп} + 0,002 = 4 \cdot \pi \cdot \frac{d_{поп}^2}{4} \cdot (B + d_{поп}) \cdot \gamma, \quad (12)$$

Откуда получаем

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{ст}) \cdot t_{ст} \cdot h_k \cdot \gamma_{ст} + \pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot t_{п} \cdot \gamma_{поп} + 0,0005}{\pi \cdot (B + d_{поп}) \cdot \gamma}} \quad (13)$$

В уравнении (12) $\gamma'_{ст} = \gamma_{ст} - 1$ приведенная плотность стенок поплавок с учетом взвешивающего действия воды составляет: $\gamma'_{ст} = 1,4 - 1 = 0,4 \text{ т/м}^3$.

Подставляя исходные данные примера в уравнение (13), получаем численное выражение для определения диаметра поплавок:

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 0,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot \gamma}} = \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0452 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп})}} \quad (14)$$

На рисунке 3 приведено графоаналитическое решение уравнения (14) для рассматриваемого гидравлического режима, которое дает значение требуемого диаметра поплавок: $d_{п} = 0,0808 \text{ м}$.

Гидродинамические расчеты плавания короба при изливе из него воды через круглоцилиндрический поплавок. При изливе воды из плавающего короба действующие на него силы изменятся следующим образом:

- изменится виртуальный вес короба в связи с полным погружением его стенок в воду, при котором виртуальный удельный вес материала стенок составит: $\gamma'_{ст} = \gamma_{ст} - 1 = 0,4 \text{ т/м}^3$;

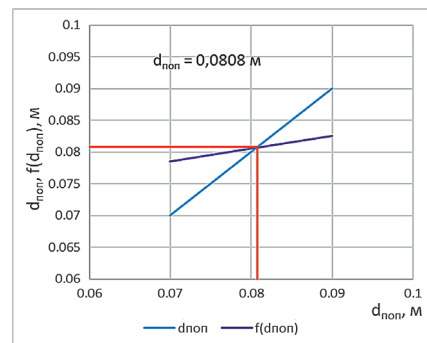


Рис. 3. Графоаналитическое решение уравнения (14)

Fig. 3. Graphoanalytical solution of the equation (14)

– уменьшится подъемная сила поплавка за счет того, что он будет полностью погружен в воду и объем вытесняемой им воды станет равен объему поплавка: $W = \pi \cdot d_{\text{поп}}^2 \cdot l_{\text{поп}} / 4 = 4 \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) d_{\text{поп}}^2 / 4 = \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) d_{\text{поп}}^2$;

– появляется пригрузка поплавка весом G_w слоя воды, переливающейся через гребень поплавка, который начнет работать как вакуумный водослив [7].

С учетом изменившихся сил выражение (11) для определения диаметра поплавка примет вид:

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot h_{\text{к}} \cdot \gamma' + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + G_w + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma}}}. \quad (15)$$

Таким образом, для решения уравнения (15) необходимо определить величину пригрузки G_w поплавка весом слоя переливающейся воды.

Определение величины пригрузки G_w поплавка весом слоя переливающейся воды. При изливе воды из подвижного короба поплавков начнет работать как водослив практического профиля с вакуумным круглоцилиндрическим оголовком. На гребне оголовка установится критическая глубина, которой соответствует минимум энергии сечения. Во всех учебниках гидравлики и справочной литературе [5-7] приводится вывод критической глубины потока, подчиняющегося законам медленно изменяющегося движения. Формула для определения этой критической глубины имеет вид:

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{\alpha \cdot Q^2}{g \cdot B^2}}, \quad (16)$$

где α – коэффициент Кориолиса; Q – расход; B – длина сливного фронта; g – ускорение свободного движения.

Однако при переливе воды через круглоцилиндрический гребень поплавка в потоке будут развиваться силы гидродинамического давления, благодаря которым уравнение полной энергии H_0 потока относительно плоскости сравнения, проходящей через дно потока на гребне водослива, примет вид [8]:

$$H_0 = h + \kappa_{\text{сп}} \cdot \frac{V^2}{g} \cdot h + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}, \quad (17)$$

где h – глубина потока; V – скорость потока; $\kappa_{\text{сп}}$ – среднее значение кривизны потока в рассматриваемом сечении.

Среднее значение кривизны потока $\kappa_{\text{сп}}$ можно определить [8] как

$$\kappa_{\text{сп}} = \frac{\kappa_{\text{вн}} + \kappa_{\text{п}}}{2}, \quad (18)$$

где $\kappa_{\text{вн}} = \kappa_{\text{поп}} = 1/r_{\text{поп}} = 2/d_{\text{поп}}$ кривизна внутренних донных струй на гребне поплавка; $\kappa_{\text{п}} = 1/R_{\text{п}}$ – кривизна поверхностных внешних струй потока на гребне поплавка, имеющих радиус кривизны $R_{\text{п}}$.

По С.М. Слисскому, при криволинейном очертании дна водовода и искривлении потока в вертикальной плоскости можно принимать радиус кривизны наружных струй потока как $R_{\text{п}} = r_{\text{поп}} + h = d_{\text{поп}} / 2 + h$, с учетом чего будем иметь [9]

$$\kappa_{\text{сп}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{2}{d_{\text{поп}}} + \frac{2}{d_{\text{поп}} + 2 \cdot h} \right) = 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)}. \quad (19)$$

Поток на гребне водослива имеет выпуклую форму, которой соответствует отрицательное значение кривизны в (17). Подставив из (18) значение средней кривизны с обратным знаком в (17) и заменив $V = q/h$, получим

$$H_0 = h - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h} + \alpha \cdot \frac{q^2}{2 \cdot g \cdot h^2}. \quad (20)$$

Минимальным значение выражения (20) будет при $h = h_{\text{кр}}$. Продифференцировав (20) по h , получим выражение для определения критической глубины $h_{\text{кр}}$ с учетом наличия кривизны струй в вертикальной плоскости:

$$\frac{\partial H_0}{\partial h_{\text{кр}}} = 0 = 1 - 2 \cdot \frac{1}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}} + 4 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})^2} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}} + 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} \cdot \frac{q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}^2} - \frac{\alpha \cdot q^2}{g \cdot h_{\text{кр}}^3}. \quad (21)$$

Решив (21) относительно h^3 (для упрощения записи нижний индекс «кр» опущен), получим выражение для определения критической глубины потока на гребне поплавка:

$$h^3 = 2 \cdot \frac{h^2}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g} - 4 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)^2} \cdot \frac{q^2}{g} \cdot h^2 - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h)} \cdot \frac{q^2}{g} \cdot h + \frac{\alpha \cdot q^2}{g}, \quad (22)$$

из которого после соответствующих преобразований получаем

$$h_{\text{кр}} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g} \cdot \sqrt[3]{\alpha + \frac{2 \cdot h_{\text{кр}}^2 \cdot [1 - 2 \cdot (d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}})]}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})} - 2 \cdot \frac{d_{\text{поп}} + h_{\text{кр}}}{d_{\text{поп}} \cdot (d_{\text{поп}} + 2 \cdot h_{\text{кр}})^2} \cdot h_{\text{кр}}^2}}}. \quad (23)$$

Уравнение (23) не имеет общего решения и решается графоаналитическим способом. Как видим по уравнению (23), при его решении необходимо знать диаметр поплавка, который по (15) в свою очередь зависит от величины пригрузки переливающимся слоем воды. Для оценки влияния кривизны потока на величину критической глубины определим критическую глубину

при диаметре поплавок: $d_{\text{поп}} = 0,20; 0,25; 0,30; 0,4$ м. В этом случае для рассмотренного выше примера с диаметром трубопровода и шириной подвижного короба под $B = 2D = 2,4$ м с расходом $Q = 3 \text{ м}^3/\text{с}$ для плоского потока с коэффициентом Кориолиса будет $\alpha = 1,05$. Графическое решение уравнения (23) для этих диаметров поплавок приведено на рисунке 4.

Соответственно получаем следующие значения величин критической глубины с учетом кривизны потока: $h_{\text{кр.крив.}} = 0,1875; 0,1865; 0,1856$ м. Относительная величина критической глубины к напору H_0 для приведенных диаметров поплавок составляет: $h_{\text{кр.крив.}}/H_0$ $0,730 \approx 0,79; 0,735 \approx 0,79; 0,740 \approx 0,79$; в среднем $h_{\text{кр.крив.}}/H_0 = 0,735$.

Как следует из приведенных расчетов, предварительно можно принять диаметр поплавок равным 0,2 м и критическую глубину $h_{\text{кр.крив.}}$ равную 0,1875 м.

Максимальная пригрузка поплавок переливающимся слоем воды будет при неподпертом со стороны нижнего бьефа режиме истечения воды через гребень поплавок. В первом приближении осредненную толщину слоя переливающейся воды на проекции диаметра поплавок можно принять равной изменяющейся от величины H_0 на переднем конце диаметра гребня поплавок, равной критической глубине $h_{\text{кр.крив.}}$ и за гребнем поплавок. Пригрузка поплавок переливающимся слоем составит:

$$G_w = 4 \cdot \gamma \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \left(\frac{H + h_{\text{кр}}}{2} + h_{\text{кр}} \right) \cdot \frac{d_{\text{поп}}}{2} = \gamma \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot (H + 3 \cdot h_{\text{кр}}). \quad (24)$$

Как следует из источника [4], по при принятой схеме перелива воды через гребень поплавок он будет работать как вакуумный водослив. Предварительно приняв значение коэффициента

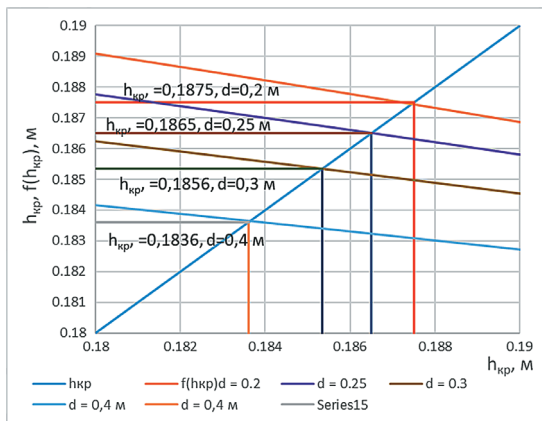


Рис. 4. Результаты графоаналитического решения уравнения (23)

Fig. 4. Results of graphoanalytic solution of the equation (23)

расхода $m = 0,5$ при неподтопленном переливе через гребень поплавок, получаем

$$Q = m \cdot 4 \cdot (B + d_{\text{п}}) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0^3},$$

откуда получаем величину расчетного напора H_0 для рассматриваемого примера:

$$H_0 = \left(\frac{Q}{4 \cdot m \cdot (B + d_{\text{п}}) \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{3,0}{4 \cdot 0,5 \cdot (2,4 + 0,2) \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = 0,257 \text{ м.}$$

Принимая во внимание ранее вычисленное значение критической глубины $h_{\text{кр}} = 0,1875$ м, получаем относительную величину критической глубины $h_{\text{кр}}/H = 0,1875/0,257 = 0,73$. Это дает среднее гидродинамического давления переливающегося потока на гребень оголовка поплавок $(H + 3 h_{\text{кр}}) = (1 + 3 \cdot 0,73) H = 3,267H$, с учетом чего уравнение (24) примет вид:

$$G_w = \gamma \cdot 3,19 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H,$$

Формула для определения требуемого диаметра поплавок при переливе через него воды из подвижного короба при максимальном расходе воды трубопровода примет вид:

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(B - t_{\text{ст}}) \cdot t_{\text{ст}} \cdot H_{\text{к}} \cdot \gamma' + \pi \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} \cdot t_{\text{п}} \cdot \gamma_{\text{поп}} + \gamma \cdot 0,798 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot \gamma_{\text{в}}}}. \quad (25)$$

Подставляя в уравнение (25) параметры рассматриваемого примера, получим выражение для определения диаметра поплавок при переливе максимального расхода, обеспечивающего его непотопляемость при положении гребня поплавок на уровне воды в приемном канале, что после соответствующих преобразований дает

$$d_{\text{поп}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0965 + 0,181 \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot d_{\text{поп}} + 0,798 \cdot d_{\text{поп}} \cdot (B + d_{\text{поп}}) \cdot H + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{\text{поп}})}}. \quad (26)$$

Графоаналитическое решение уравнения (26) приведено на рисунке 5, в соответствии с которым расчетный диаметр поплавок при переливе максимального расхода $Q = 3 \text{ м}^3/\text{с}$ должен равняться 0,3155 м.

Таким образом, на основании приведенных расчетов получаем, что гидравлическим режимом, определяющим диаметр поплавок подвижного короба, является режим с переливом воды через гребень поплавок при подаче насосной станцией максимального расхода. В данном случае можно использовать стандартные трубы из поливинилхлорида [10], которые имеют широкий диапазон стандартных диаметров и могут

быть приспособлены также для широкого диапазона параметров подвижного короба и расходов напорного трубопровода. Для полученного определяющего диаметра поплавок 0,315 м подойдет

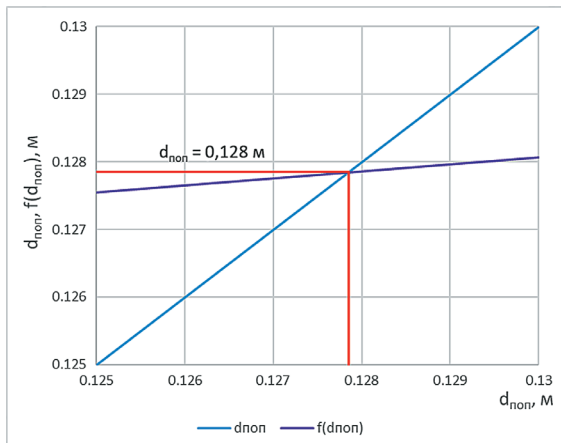


Рис. 5. Результаты графоаналитического решения уравнения (26)

Fig. 5. Results of graphoanalytic solution of the equation (26)

Список использованных источников

1. Али М.С., Беглецов Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: учебник для вузов. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 330 с.
2. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Б. Гидравлическое обоснование работы телескопического водовыпускного сооружения в незатопленном режиме // Природообустройство. 2022. № 5. С. 114-120.
3. 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.
4. Костяков А.Н. Основы мелиораций. М.: Сельхозгиз, 1960. 662 с.
5. Павловский Н.Н. Гидравлический справочник. Л. – М.: ОНТИ. НКТП. СССР, 1937. 866 с.
6. Штеренлихт Д.В. Гидравлика: учебник. М.: Колосс, 2004. 650 с.
7. Справочник по гидравлическим расчетам / Под общ. ред. П.Г. Киселёва. М.: «Энергия», 1972. 312 с.
8. Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Б. Теоретические расчеты параметров струи телескопического водовыпуска мелиоративной насосной станции // Сборник научных трудов. М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2021. Т. 1. С. 383-362.
9. Слиский С.М. Гидравлические расчеты высокоскоростных гидротехнических сооружений: справочник.. М.: Энергоатомиздат, 1979. 335 с.
10. ГОСТ 32413-2013. Межгосударственный стандарт: трубы и фасонные части из непластифицированного поливинилхлорида для систем наружной канализации. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.

Критерии авторства

Хаек Бушра выполнила практические и теоретические исследования, на основании которых провела обобщение и написала рукопись, имеет на статью авторское право и несет ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 09.01.2023

Одобрена после рецензирования 23.01.2023

Принята к публикации 23.01.2023

ближайший больший стандартный диаметр трубы $d_{em} = 355,0$ мм

Выводы

Таким образом, для трех рассмотренных гидравлических вариантов работы подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком для параметра трубопровода насосной станции получены следующие расчетные диаметры поплавка: $d_{поп} = 0,1279$ м; $d_{поп} = 0,0808$ м; $d_{поп} = 0,315$ м.

Как следует из приведенных расчетов, определяющим диаметром поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода.

Для данного конкретного случая имеется возможность использовать стандартные трубы из ПВХ, ближайший больший стандартный наружный диаметр составляет: $d_{em} = 355,0$ мм.

Учитывая простоту конструкции водовыпуска телескопического типа, его можно без труда изготовить в условиях механических мастерских строительных организаций.

References

1. Ali M.S. Nasosy i nasosnyye stantsii: uchebnik dlya vuzov / M.S. Ali, D.S. Begletsov, V.F. Chebaevskij. M.: RGAU-MSHA, 2015. 330 s.
2. Gurjev A.P. Gidravlichesкое обоснование работы teleskopicheskogo vodovypuskного соорuzheniya v nezatoplenном rezhime / A.P. Gurjev, N.V. Khanov, Haek Bushra A. I.N // M.: Prirodoobustrojstvo. 2022. № 5. S. 114-120.
3. Teodoronskij V.S. Gidrotehnicheskie melioratsii: uchebnik dlya vuzov/ V.S. Teodoronskij, E.D. Sabo, A.A. Zolotarevskij. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Yurajt, 2021. 317 s.
4. Kostyakov A.N. Osnovy melioratsij. M.: Selhozgiz. 1960. 662 s.
5. Pavlovskij N.N. Gidravlichesкий справochnik / N.N. Pavlovskij. L. – M.: ONTI. NKTP. SSSR, 1937. 866 s.
6. Shterenliht D.V. Gidravlika. M.: Koloss, 2004. 650 s.
7. Spravochnik po gidravlichesким raschetam / pod obshch. red. P. G. Kiselyeva. – M.: "Energiya", 1972. 312 s.
8. Gurjev A.P., Khanov N.V., Haek B. Teoreticheskie raschyety parametrov strui teleskopicheskogo vodovypuska meliorativnoj nasosnoj stantsii / Sb. nauchn. Tr. M.: RGAU-MSHA im. K.A. Timiryazeva, 2021. T. 1. 383-362.
9. Sliskij S.M. Gidravlichesкие raschyety vysokoskorostnyh gidrotehnicheskikh соорuzhenij. M.: Energoatomizdat, 1979. 335 s.
10. GOST 32413-2013 Mezhsudarstvennyj standart: trubyy i fasonnyye chasti iz neplastifitsirovannogo polivinilhlorida dlya sistem naruzhnoj kanalizatsii. Tehnicheskiesloviya. M.: Standartinform, 2014.

Criteria of authorship:

Hayek Bushra carried out practical and theoretical studies, on the basis of which she generalized and wrote the manuscript. She has a copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 09.01.2023

Approved after reviewing 23.01.2023

Accepted for publication 23.01.2023