

Научная статья
УДК 627. 83 (088.8)
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.29.30.023

Гидравлический расчет русловых водоприемников с выпуклыми решетками для целей противопожарного водоснабжения

Елена Ивановна Голякова

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Россия,
<https://orcid.org/0000-0002-4157-8525>

Автор ответственный за переписку: Елена Ивановна Голякова, piast@sibpsa.ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы увеличения водоотбора затопленными русловыми водоприемниками из поверхностных источников для целей водоснабжения, в том числе для противопожарных нужд. Одним из перспективных технических решений водоприемников является конструкция удлиненной вихревой камеры с соблюдением равномерного водоотбора вдоль рассредоточенного водоприемного фронта.

Такие водоприемники со стандартными плоскими решетками на входе нашли широкое применение из-за малых скоростей на входе, позволяющих транзитному потоку в водоисточнике уносить различного рода загрязнения за зону питания водозабора.

При установке выпуклых решеток цилиндрической или коноидальной формы увеличивается водоприемная площадь до 2 — 2,5 раза по сравнению с плоскими решетками, следовательно и расход забираемой воды.

Автором статьи разработана методика гидравлического расчета технологических элементов вихревых камер с возможными типоразмерами цилиндрических и коноидальных решеток различной степени выпуклости, тем самым открывая перспективы применения последних, обладающих рядом преимуществ. Одним из значимых достоинств конструктивных решений вихревых камер с выпуклыми решетками является возможность регулирования забираемого из водоисточника расходом воды в зависимости от требуемого объема водопотребления.

В отличие от известных методик размеры элементов вихревых камер на входе и выходе из нее предлагается вычислять во взаимосвязи с параметрами водоисточника. Разработанная методика гидравлического расчета может быть полезна для инженеров, занимающихся проектированием и эксплуатацией водозаборов из поверхностных источников. В частности при реконструкции существующих водоприемников, заменяя съемные плоские решетки на выпуклые в водоисточник, либо при строительстве новых водозаборов с целью обеспечения гарантированного увеличенного расхода воды и эффективности функционирования системы водоснабжения.

Ключевые слова: вихревые камеры, эффективность водоснабжения, противопожарное водоснабжение, русловые водоприемники

Для цитирования: Голякова Е.И. Гидравлический расчет русловых водоприемников с выпуклыми решетками для целей противопожарного водоснабжения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 15-23. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.29.30.023>

Original article

Hydraulic calculation of channel water intakes with convex gratings for fire water supply purposes

Elena I. Golyakova

Siberian Fire and Rescue Academy EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia,

<https://orcid.org/0000-0002-4157-8525>

Corresponding author: *Elena I. Golyakova, piast@sibpsa.ru*

Abstract: The article discusses the issues of increasing water withdrawal by flooded river-bed water intakes from surface sources for water supply purposes, including for fire-fighting needs. One of the promising technical solutions for water intakes is the design of an elongated vortex chamber ensuring uniform water intake along a dispersed water intake front.

Such water intakes with standard flat gratings at the inlet are widely used due to the low inlet velocities, which allow the transit flow in the water source to carry various types of contaminants beyond the water intake feed zone.

When installing convex gratings of cylindrical or conoidal shape, the water intake area increases up to 2 - 2.5 times compared to flat gratings, and hence the consumption of water taken.

The author of the article has developed a method for hydraulic calculation of technological elements of vortex chambers with possible standard sizes of cylindrical and conoidal gratings of varying degrees of convexity, thereby opening up prospects for the use of the latter, which have a number of advantages. One of the significant advantages of design solutions for vortex chambers with convex gratings is the ability to regulate the water flow taken from a water source depending on the required volume of water consumption.

In contrast to known methods, the dimensions of the elements of the vortex chambers at the inlet and outlet of it are proposed to be calculated in conjunction with the parameters of the water source. The developed hydraulic calculation methodology can be useful for engineers involved in the design and operation of water intakes from surface sources. In particular, when reconstructing existing water intakes, replacing removable flat grates with convex ones in the water source, or when constructing new water intakes in order to ensure guaranteed increased water flow and the efficiency of the water supply system.

Keywords: vortex chambers, efficiency of water supply, fire-fighting water supply, channel water intakes

For citation: Golyakova E.I. Hydraulic calculation of channel water intakes with convex gratings for fire water supply purposes // *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2024. № 2 (33): С. 15-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.29.30.023>

Введение

Важнейшую роль в обеспечении надежности наружного противопожарного водоснабжения играют сооружения для забора воды. Водоприемные сооружения в комплексе с другими элементами общего водоснабжения (водоисточником, насосами, водопроводом, напорно-регулирующими сооружениями) являются гарантом достижения эффективности противопожарной защиты населенных пунктов и промышленных объектов.

Одним из усовершенствованных решений русловых водоприемников является конструкция вихревой камеры в виде канала или трубы переменного поперечного сечения с водоприемными отверстиями, перекрытыми выпуклыми решетками (Рис.1) [1].

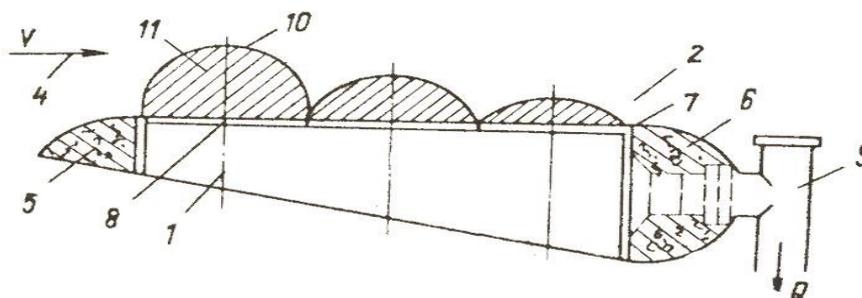


Рис.1. Вихревая камера с выпуклыми решетками:

1 - вихревая камера; 2 - водоисточник; 4 - направление скорости в водоисточнике; 5 - верхней торец камеры; 6 - нижней торец камеры; 7 - боковая поверхность камеры; 8 - водоприемные отверстия; 9 - отводящий трубопровод; 10 - выпуклые решетки; 11 - сегментные пластины

Главным достоинством таких сооружений является возможность регулирования расходом и напором при изменении параметров водоисточника при соблюдении равномерного водоотбора вдоль рассредоточенного водоприемного фронта [2].

Последнее является важнейшим условием для предотвращения засорения решеток, перекрывающих входные окна вихревой камеры, что и обеспечивает максимальную эффективность забора воды.

При одних и тех же габаритах водоприемника съемные выпуклые решетки цилиндрической или коноидальной формы различной степенью выпуклости увеличивают площадь водоприемного фронта до 2 - 2,5 раза по сравнению с плоскими решетками, следовательно и расход забираемой воды. [3].

Данное техническое решение наиболее актуально при необходимости реконструкции существующих водоприемников с плоскими решетками в случае роста водопотребления населенных пунктов, либо изменения гидрологических параметров водоисточника.

До настоящего времени не разработана методика гидравлического расчета водоприемников с выпуклыми в водоисточник решетками, что не позволяет широко применять их в системах объединенного хозяйственно-противопожарного водоснабжения.

Гидравлический расчет элементов водоприемника

На основании теоретических и экспериментальных исследований [4] и общепринятых закономерностей движения идеальных струй [5] автором предлагается гидравлический расчет технологических элементов вихревых камер с решетками различной степени выпуклости, впервые увязав его со скоростью воды в водоисточнике.

Конструктивно с геометрической точки зрения выпуклые решетки представляют собой часть цилиндрической или коноидальной поверхности, ограниченной сверху и снизу (Рис.2а), либо только сверху (Рис. 2б) сплошными сегментными пластинами.

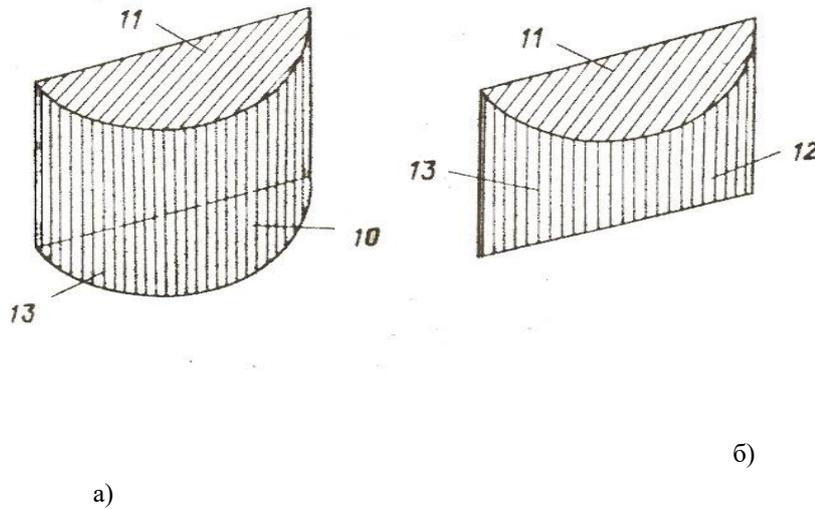


Рис.2. Выпуклые решетки: а) цилиндрические, б) коноидальные.
 10 - выпуклые цилиндрические решетки; 11 - сегментные пластины; 12 - выпуклые коноидальные решетки; 13 - стержни решеток

Плановые их очертания по подобию аэродинамических сегментных профилей [5] характеризуются радиусом r_i окружностей, центры которых принадлежат геометрической оси отверстий (Рис.3).

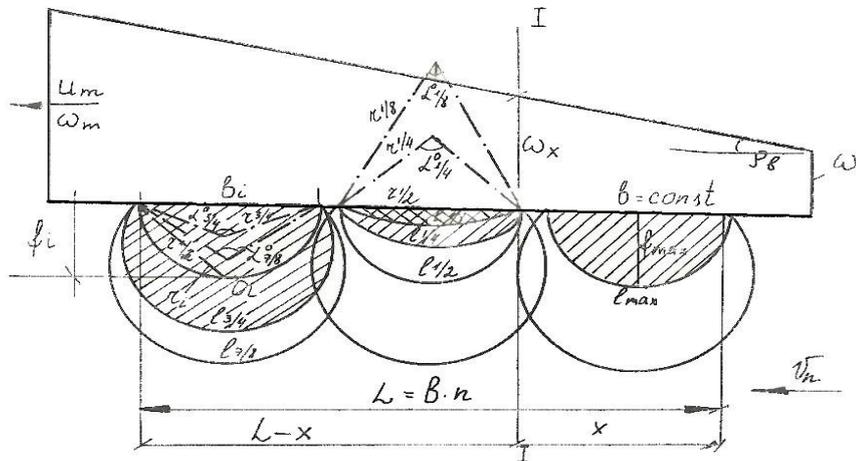


Рис.3. Схема конструирования сегментных решеток различной степени выпуклости в продольном сечении вихревой камеры, где: f_i - стрелка сегментной пластины (толщина сегментного профиля); b_i - ширина водоприемного отверстия (длина стягивающей хорды профиля); l_i - длина сегментной направляющей (длина дуги профиля); α - угол обхвата сегментной пластины.

Известно, что через две данные точки можно провести бесконечное множество окружностей с произвольно выбранными радиусами $r_{1/2}$, $r_{1/4}$, $r_{1/8}$ и т.д., но не меньшими половины расстояния между точками, т.е. $r_i > b_{i/2}$. Центры таких окружностей $O_{1/2}$, $O_{1/4}$, $O_{1/8}$ и т.д. лежат на одной прямой, перпендикулярной отрезку между этими точками и проходящей через его середину [6].

При одной и той же длине хорды b_i уменьшение стрелки сегмента влечет за собой увеличение радиуса описываемого контура r_i , уменьшение длины дуги сегмента l_i и

центрального угла α . Это свойство окружностей и было использовано при определении размеров, ограничивающих решетки сегментных пластин и распределения их в последовательный ряд.

Введем понятие степени выпуклости сегментных пластин, ограничивающих сверху и снизу выпуклые решетки, как отношение ее стрелки к длине хорды (равной ширине водоприемного отверстия):

$$\eta_i = \frac{f}{b}$$

Для определения типоразмеров сегментных пластин в пределах максимальной степени выпуклости $0,5 > \eta_i > 0,1$ необходимо, задаваясь степенью выпуклости по Табл.1, выбрать длину дуги единичной хорды - $l_{\text{таб}}$, длину хорды - $b_{\text{таб}}$ и длину стрелки - $f_{\text{таб}}$ для единичного радиуса. Далее по известной длине хорды b_i следует рассчитать технологические размеры сегментных пластин по формулам:

$$l_i = l_{\text{таб}} \times b_i \quad i_i = \frac{b_i}{b_{\text{таб}}};$$

$$f_i = f_{\text{таб}} \times i$$

Табл.1. Типоразмеры сегментных пластин.

Отношение стрелки к длине хорды η_i	Длина дуги $l_{\text{таб}}$ для хорды = 1	Длина хорды $b_{\text{таб}}$ для радиуса = 1	Стрелка $f_{\text{таб}}$ для радиуса = 1
0,1	1,03	0,77	0,08
0,2	1,10	1,38	0,28
0,3	1,23	1,77	0,49
0,4	1,39	1,95	0,78
0,5	1,57	2,00	1,00

Из Табл.1 наглядно видно, что с увеличением степени выпуклости η_i от 0,1 до 0,5 длина дуги с единичной длиной хорды увеличивается от 1 до 1,57.

Сравнительный расчет площади сегментных пластин, ограничивающих выпуклые решетки в виде $\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{2}$ частью круга, для конкретных размеров входных отверстий ($b = 0,45$ м. $t = 0,25$ м) приведен в Табл.2. Площадь полуцилиндрической решетки ($\eta_i = 0,5$) $\Omega_{\text{бр}}$ увеличивается в 1,54 раза по сравнению с плоской решеткой ($\eta_i = 0$).

Табл.2. Сравнительный расчет площади сегментных пластин

η_i	l_i	r_i	f_i	l_i/b_i	$\Omega_{\text{бр}} = t \times l_i$
0	0,45	0	0	1,0	0,13
1/4	0,52	0,28	0,11	1,16	0,15
1/2	0,71	0,23	0,23	1,57	0,2

Отношение ширины отверстия b к длине дуги, огибающей сегментную пластину l , при фиксированной степени выпуклости $\eta_i = \text{const}$ есть величина постоянная, т.е.: $\frac{b}{l} = \text{const}$ и представляет собой предельно допустимую степень стеснения решеток стержнями: $P_{\text{max}} < \frac{b}{l} < 1$.

При малой величине выпуклости η_i : $b = 1$, степень стеснения решеток $P = 1$, что говорит о полной проницаемости водоприемных отверстий. Значения максимальной степени стеснения водоприемных отверстий P плоскими и выпуклыми решетками, ограниченных сегментными пластинами приведены в Табл.3.

Табл.3. Степень стеснения отверстий стержнями

Типы решеток	Отношение площади живого сечения решеток к площади отверстий при степени стеснения Р равной:					$P_{\max} = \frac{b}{l}$
	0,5	0,65	0,70	0,75	0,8	
Плоская $\eta_i = 0$	0,5	0,65	0,70	0,75	0,8	1
сегментная $\eta_i = 1/4$	0,58	0,73	0,82	0,86	0,93	0,87
полуцилинд- рическая $\eta_i = 1/2$	0,79	0,99	1,12	1,16	1,26	0,64

Основные соотношения размеров выпуклых решеток и выходного сечения водоприемника получим из известной формулы для длины дуги сегмента [6]:

$l = \frac{2\pi i \alpha^\circ}{360^\circ}$ и схемы Рис.3, а также заменяя стрелку сегментной пластины f степенью ее выпуклости η_i .

Гидравлический расчет водоприемников применительно к нормальным условиям эксплуатации подразумевает цель – определение размеров основных его элементов [7].

Для водоприемников с выпуклыми решетками длина водоприемного фронта (вихревой камеры) определяется по формуле:

$$L = \frac{b \times n}{\lambda} \times \arcsin \lambda \quad (1)$$

где:

n - количество водоприемных отверстий на боковой грани вихревой камеры;

b - ширина водоприемного отверстия;

λ – коэффициент степени выпуклости решеток:

$$\lambda = \frac{4\eta_i}{4\eta_i + 1} \quad (2)$$

Пропускная способность вихревой камеры с выпуклыми решетками:

$$Q = \frac{bt \ n \ P}{\lambda} \arcsin \lambda \quad (3)$$

Используя известное уравнение неразрывности (сплошности) потока [8], связывающее параметры в верховом торце (площадь и скорость на входе в выпуклые решетки) и низовом (выходном) сечении вихревой камеры, впервые получено соотношение оптимальных размеров элементов водоприемника с выпуклыми решетками:

$$\frac{\Omega_b}{\omega_m} = \frac{V_m}{V_b} \times \frac{\lambda}{\arcsin \lambda} \quad (4)$$

где:

Ω_b - площадь живого сечения водоприемных отверстий;

ω_m - площадь поперечного сечения вихревой камеры на выходе в низовом торце;

V_b - скорость втекания воды в решетки;

V_m - скорость в низовом сечении вихревой камеры.

Автором предлагается следующая последовательность гидравлического расчета водоприемника в виде вихревой камеры с выпуклыми решетками.

Для выбранной степени выпуклости решеток $0,5 > \eta_i > 0,1$ вычисляется коэффициент λ по формуле 2.

Исходя из требуемого расхода подачи воды Q и средней нормативной скорости втекания в водоприемник V_b (0,1 - 0,3 м/с) [9] определяется ориентировочная площадь водозаборного фронта (брутто):

$$\Omega_{\text{бр}} = L \times t = \frac{1,25\lambda Q}{P V_{\text{в}} \arcsin \lambda} \quad (5)$$

где:

L - длина водоприемного фронта (длина вихревой камеры);

t - высота водоприемных отверстий;

1,25 – коэффициент, учитывающий прогнозируемое засорение отверстий;

P - степень стеснения стержнями выпуклых цилиндрических решеток живого сечения водоприемных отверстий, определяется так же как для плоских решеток:

$$P = \frac{a}{a+d}$$

где:

a - шаг установки стержней решеток;

d - толщина (диаметр) стержней решеток.

В отличие от цилиндрических в коноидальных решетках, ограниченных сегментными пластинами только сверху (Рис.2б), шаг между стержнями постоянной толщины должен быть по нижней направляющей меньше, чем по верхней, т.е.: $a_{\text{в}} > a_{\text{н}}$. Поэтому степень стеснения живого сечения коноидальных решеток стержнями, отнесенная к общей водоприемной поверхности, будет равна:

$$P = \frac{a_{\text{в}} + a_{\text{н}}}{2d + (a_{\text{в}} + a_{\text{н}})} \quad (6)$$

Для обеспечения постоянного расстояния между стержнями по всей высоте, они должны быть переменной толщины, увеличивающейся к верхней сегментной пластине, т.е.: $d_{\text{в}} > d_{\text{н}}$. В этом случае степень стеснения вычисляется по формуле:

$$P = \frac{2a}{2a + (d_{\text{в}} + d_{\text{н}})}$$

Полная длина водоприемного фронта, вычисленная по формуле 1, состоящая из n - водоприемных отверстий, не должна превышать десятикратной высоты водоприемника в низовом торце вихревой камеры:

$$L = l_{\text{н}} + 0,4 n < 6 - 10 h_{\text{м}} \quad (7)$$

где:

$l_{\text{н}}$ - длина водоприемного фронта (нетто);

$h_{\text{м}}$ - высота водоприемника в низовом торце, зависит от глубины водоисточника и высоты отверстий.

Порог (низ) водоприемных отверстий должен быть расположен не менее, чем на 0,5 м выше дна водоисточника, верх - не менее, чем на 0,2 м от нижнего горизонта водоисточника [9].

Технологически общепринятые размеры вихревых камер [10] предполагают соотношение ширины и высоты водоприемных отверстий равным:

$$1,5 > \frac{b}{t} > 1,25$$

Размеры выходного сечения (низового торца) водоприемника:

$$b_{\text{м}} = \frac{Q}{h_{\text{м}} \times V_{\text{м}}} \quad (8)$$

Площадь выходного сечения (низового торца) водоприемника: $\Omega_{\text{м}} = b_{\text{м}} h_{\text{м}}$

Средняя скорость в низовом сечении вихревой камеры должна варьироваться:

$$0,3 < V_{\text{м}} < 0,75$$

Варьируя значениями Ω , $\Omega_{\text{м}}$, $V_{\text{в}}$, $V_{\text{м}}$, а также степенью выпуклости решеток η_i , используя зависимость (4), определяются размеры элементов водоприемника с выпуклыми решетками, обеспечивающего максимальную пропускную способность.

При этом степень выпуклости решеток также взаимосвязана с параметрами водоисточника:

$$\eta_i < 5,5 \frac{Q}{n v \Omega} \quad (9)$$

где:

Q - расход водоотбора;

n - количество выпуклых решеток;

v - скорость воды в водоисточнике;

Ω - площадь водоприемного фронта.

Выводы.

Таким образом, установлено:

1. Техническое решение затопленного водоприемника в виде вихревой камеры с выпуклыми решетками, позволяющими забирать в 2,5 раза больше требуемых расходов воды, не нашло широкого применения на практике в связи с отсутствием методики гидравлического расчета технологических элементов водоприемника.

2. Отсутствие уточненных типоразмеров цилиндрических и коноидальных решеток не позволяют внести коррективы в известные методики гидравлического расчета водоприемников с традиционными плоскими решетками.

Автором впервые предложены возможные типоразмеры цилиндрических и коноидальных решеток, а также методика гидравлического расчета вихревых камер с решетками различной степени выпуклости с учетом параметров водоисточника.

Предлагаемая методика может быть использована при реконструкции существующих водоприемников заменой съемных плоских решеток на выпуклые в водоисточник, либо при проектировании новых водозаборов с целью получения гарантированного увеличенного расхода воды и эффективности функционирования системы водоснабжения в целом, в том числе для противопожарных нужд.

Список источников

1. Описание изобретения к авторскому свидетельству № 1266924 СССР, Речной водоприемник: заявл.27.03.1985: опубл.30.10.1986 / Голякова Е.И., Курганов А.М.; заявитель ЛИСИ.- 4 с.

2. Голякова Е.И. Филкова А.П. Совершенствование водозаборов из поверхностных источников с целью обеспечения надежности противопожарного водоснабжения // Сибирский пожарно-спасательный вестник: электрн. Аналит. Журн. 2022. № 3 (26). С 34-39. URL: [https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2022/v3/ № 26 С.34-39.pdf](https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2022/v3/№26С.34-39.pdf) (дата обращения 15.02.2024).

3. Голякова Е.И. Оптимизация размеров входных решеток русловых водоприемников для целей противопожарного водоснабжения // Сибирский пожарно-спасательный вестник: электрн. аналит. журн. 2023. № 3 (30). С 34-40. URL: [https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2023/v3/ № 30 С.34-40.pdf](https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2023/v3/№30С.34-40.pdf) (дата обращения 15.02.2024).

4. Голякова Е.И. Русловые водоприемники с входными заграждениями сегментной формы: дис. канд. тех. наук: 05.23.04, защищена 1.11.88: утв. 15.03. 89. - Ленинград.1988. - 229 с.

5. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости / Гуревич М.И.; под редакцией Г.М. Ильичевой. - 2-е изд., перераб. и доп.- Москва: Наука, 1979. - 536 с. - ISBN отсутствует. - Текст: электронный. (дата обращения 15.02.2024).

6. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский; под редакцией М.Я. Выгодского. - Москва: Астрель, 2019.- 703 с.- ISBN 978-5-17-117741-6.- Текст: непосредственный.

7. Орлов Е.В. Водозаборные сооружения из поверхностных источников: учебное пособие / Орлов Е. В.. – Москва: МГСУ, 2013. - 100 с. – ISBN 978-5-7264-0736-4. – Текст: электронный (дата обращения 15.02.2024).

8. Сайриддинов С. Ш. Гидравлика систем водоснабжения и водоотведения: учебное пособие / Сайриддинов С.Ш.; под редакцией Вдовина Ю. И.. - Москва: АСВ, 2012. - 352 с. - ISBN 978-5-93093-247-8. - Текст: электронный. (дата обращения 15.02.2024).
9. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 02.04.02-84: дата введения 2022-01-28. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/728474306>. (дата обращения 15.02.2024).
10. Вдовин Ю.И. Совершенствование технологий водоприема и водозаборных сооружений для систем водоснабжения на Севере: дис. д-ра тех. наук: 05.23.04, защищена 05.03.97; утв. 20.08.97.- Пенза.1997. - 357 с.

References

1. Description of the invention to the author's certificate No. 1266924 USSR, River water intake: application 03.27.1985: publ. 10.30.1986 / Golyakova E.I., Kurganov A.M.; applicant LISI. - 4 p.
2. Golyakova E.I., Filkova A.P. Improving water intakes from surface sources to ensure the reliability of fire-fighting water supply // Siberian Fire and Rescue Bulletin: electronic. Analyst. Journal 2022. No. 3 (26). From 34-39. URL: <https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2022/v3/No.26.S.34-39.pdf> (access date 02/15/2024).
3. Golyakova E.I. Optimization of the sizes of inlet grids of river-bed water intakes for the purposes of fire-fighting water supply // Siberian Fire and Rescue Bulletin: electronic. analyte magazine 2023. No. 3 (30). From 34-40. URL: <https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2023/v3/No.30.S.34-40.pdf> (access date 02/15/2024).
4. Golyakova E.I. Channel water intakes with segment-shaped entrance barriers: dis. Ph.D. those. Sciences: 05.23.04, protected 1.11.88: approved. 15.03.89. - Leningrad.1988. - 229 p.
5. Gurevich M.I. Theory of ideal liquid jets / Gurevich M.I.; edited by Ilyicheva G.M.. - 2nd ed., revised. and additional - Moscow: Nauka, 1979. - 536 p. - There is no ISBN. - Text: electronic. (date of access: 02/15/2024).
6. Vygodsky M.Ya. Handbook of Higher Mathematics / Vygodsky M.Ya.; edited by Vygodsky M.Ya.. - Moscow: Astrel, 2019.- 703 pp.- ISBN 978-5-17-117741-6.- Text: direct.
7. Orlov E.V. Water intake structures from surface sources: textbook / Orlov E. V. – Moscow: MGSU, 2013. - 100 p. – ISBN 978-5-7264-0736-4. – Tex: electronic (date of access: 02/15/2024).
8. Sairiddinov S. Sh. Hydraulics of water supply and sanitation systems: textbook / Sairiddinov S.Sh.; edited by Vdovin Yu. I. - Moscow: DIA, 2012. - 352 p. - ISBN 978-5-93093-247-8. - Text: electronic. (date of access: 02/15/2024).
9. SP 31.13330.2021. Water supply. External networks and structures. Updated version of SNiP 02.04.02-84: date of introduction 2022-01-28. [Electronic resource]. - Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/728474306>. (date of access: 02/15/2024).
10. Vdovin Yu.I. Improving water intake technologies and water intake structures for water supply systems in the North: dis. Dr. Tech. Sciences: 05.23.04, protected 05.03.97: approved. 08.20.97.- Пенза.1997. - 357 p.

Информация об авторе

Е.И. Голякова - кандидат технических наук

Information about the author

E.I. Golyakova - Ph.D. of Engineering Sciences

Статья поступила в редакцию 16.04.2024; одобрена после рецензирования 20.05.2024; принята к публикации 03.06.2024.

The article was submitted 16.04.2024, approved after reviewing 20.05.2024, accepted for publication 03.06.2024.