

Научная статья
УДК 627. 84
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.003

ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕРОВ ВХОДНЫХ РЕШЕТОК РУСЛОВЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ 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. Противопожарное водоснабжение населенных пунктов – это совокупность мероприятий по обеспечению водой различных потребителей для тушения пожара. В статье рассматриваются вопросы оптимизация размеров входных решеток русловых водоприемников для забора воды из поверхностных источников с целью обеспечения надежности водоснабжения, в том числе для противопожарных нужд.

Ключевые слова: водоисточники, противопожарное водоснабжение, русловые водоприемники, вихревые камеры, цилиндрические решетки

Для цитирования: Голякова Е.И. Оптимизация размеров входных решеток русловых водоприемников для целей противопожарного водоснабжения // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 3 (30). С. 34-40.
<https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.003>.

Original article

OPTIMIZATION OF THE SIZE OF THE INLET GRIDS OF CHANNEL WATER INTAKES FOR THE PURPOSES OF FIRE-FIGHTING WATER SUPPLY

Elena I. Golyakova

Siberian Fire and Rescue Academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-4157-8525>

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

Abstract. Fire-fighting water supply of settlements is a set of measures to provide water to various consumers to extinguish a fire. The article discusses methods of improving channel water intakes for water intake from surface sources in order to ensure the reliability of water supply, including for fire-fighting needs.

Keywords: water sources, fire-fighting water supply, channel water intakes, vortex chambers, cylindrical and segmental entrance barriers

For citation: Golyakova E.I. Optimization of the size of the inlet grids of channel water intakes for the purposes of fire-fighting water supply // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023;3(30):34-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2023.30.3.003>.

В населенных пунктах противопожарное водоснабжение низкого или высокого давления в большинстве случаев обеспечивается за счет объединения с хозяйственно-производственным

водопроводом. Важнейшую роль в обеспечении надежности наружного противопожарного водоснабжения играют сооружения для забора воды – русловые водоприемники.

Эти сооружения должны сохранять работоспособность при возникновении различных внешних осложнений, вызванных снижением глубин или расходов воды у водоприемных отверстий; транспортировкой потоком наносов, шуги, сора и т.п.; обмельчанием и переформированием русла водоисточника.

Игнорирование этих факторов приводит к снижению эффективности обеспечения водой в необходимом объеме и требуемом напоре для тушения пожаров в населенных пунктах и промышленных предприятиях.

Основным технологическим элементом руслового водоприемника любой конструкции являются входные отверстия с наиболее распространенным типом заграждений – плоскими решетками, служащими ограничивать поступление в него различных загрязнений. Форма и размеры входных решеток напрямую влияют на эффективность водоотбора водоприемника в целом.

В большинстве конструктивных решениях русловых водоприемников не обеспечивается постоянство удельной нагрузки по расходу, что приводит к быстрому засорению отдельных участков водоприемного фронта и снижению устойчивой водоподачи. Улучшение условий водоотбора за счет равномерных скоростей и удельных расходов вдоль водоприемного фронта частично обеспечивается в вихревых камерах с переменным сечением, увеличивающегося по направлению внутреннего течения площадью [1].

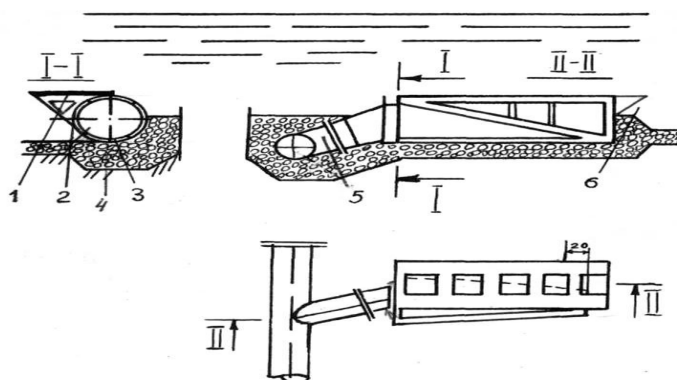


Рис.1. Затопленный водоприемник с вихревой камерой

*1 - сороудерживающая решетка на водоприемном отверстии; 2 - подрешетчатая камера;
3 - вихревая камера; 4 - входная щель; 5 - отводящий патрубков; 6 - струенаправляющий козырек*

Усовершенствование русловых водоприемников с вихревыми камерами получило развитие в сторону увеличения объема водоотбора, улучшения маневренности при изменениях кинематических параметров водоподачи или гидрологических условий водоисточника [2]. Одним из конструктивных решений при реконструкции водоприемников является замена съемных плоских решеток на выступающих в поток цилиндрической или коноидальной формы [3].

Это позволяет увеличить площадь водоприемного фронта до 2 - 2,5 раз, уменьшить соотношение скоростей втекания воды в водоприемник и течения в водоисточнике, что влечет за собой сокращение степени засорения решеток, тем самым повышение объемов забираемой воды.

Авторами настоящей статьи проведены теоретические исследования закономерностей движения потока в водоисточнике в области питания водоприемника, дана аналитическая оценка совместной работы выпуклых в поток решеток и транзитного потока с целью оптимизации конструктивных форм входных решеток.

В качестве математической модели принята общепринятая в задачах обтекания тел жидкостью гидромеханическая теория «источников и стоков» [4]. Вследствие предположения безвихревого движения воды в потоке существует потенциал скорости $\varphi = (x,y)$ и функция тока $\psi = (x,y)$. Интерпретация отверстий с выпуклыми решетками живыми сечениями $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2 \dots A_nB_nC_n$ реализована совокупностью точечных полустоков равной обильности Q , всасывающих жидкость из верхней полуплоскости внешнего потока неограниченной ширины и рассредоточенных с определенным шагом « $2a$ » на непроницаемой стенке (рис.2). В центре каждого отверстия фиксировались полюса стоков Q_1, Q_2, \dots, Q_n на непроницаемой горизонтальной стенке $-XOX$.

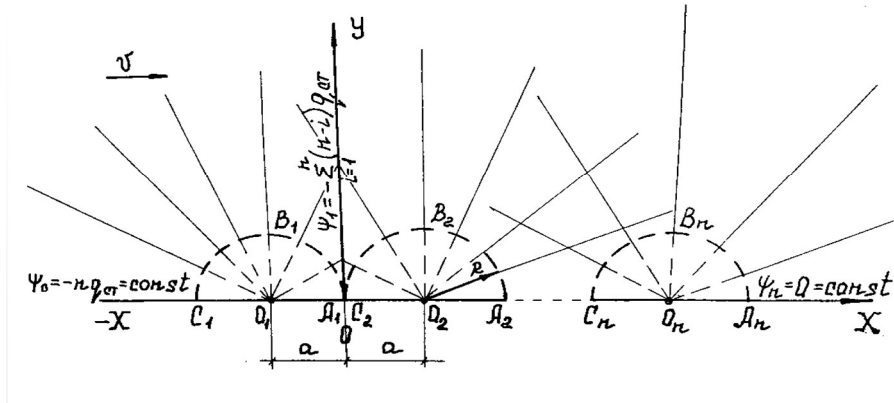


Рис.2. Схематизация выпуклых решеток в продольном сечении потока

При взаимодействии « n » полустоков и направленного под различным углом « γ » транзитного потока со скоростью « v », решая известную систему уравнений Лапласа:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = 0 \quad \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

Причем, первое уравнение использовалось для построения поля скоростей, второе – при определении зоны влияния решеток.

Получены конечные уравнения для скоростей двумерного течения:

$$U_x = v \cos \gamma - Q_{cm} \left[\frac{x-a}{(x-a)^2 + y^2} + \sum_{i_1} \frac{x-i_1 a}{(i_1 a - x)^2 + y^2} \right]$$

$$U_y = \pm v \sin \gamma - Q_{cm} \left[\frac{y}{(x-a)^2 + y^2} + \sum_{i_1} \frac{y}{(i_1 a - x)^2 + y^2} \right] \quad (2)$$

И графического построения линий тока:

$$\psi = \pm v \sin \gamma x + v \cos \gamma y + Q_{cm} \left[\arctg \frac{y}{x-a} - \sum_i \arctg \frac{y}{i_1 a - x} \right] \quad (3)$$

где:

v - средняя скорость невозмущенного выпуклыми решетками потока;

Q - напряженность одного полустока, выраженная через расход в боковой поверхности половины прямого кругового цилиндра единичной высоты с учетом равномерной дискретности « r », т.е. $Q = q_{ст} / \pi \cdot r$;

$q_{ст}$ - удельный расход бокового притока;

r - степень стеснения решеток стержнями;

γ - угол подхода внешнего потока к геометрической оси входа в решетки;

a - полурасстояние между полюсами соседних стоков;

i_1 - нечетный ряд чисел, начиная от 3 до бесконечности.

При решении поставленной задачи в случае совместной работы двух точечных полутоков обильностью « q » для установления степени их взаимовлияния друг на друга при наличии транзитного потока параллельного оси XOX рассматривались следующие варианты их расположения на этой оси: полюсы Q_1 и Q_2 сдвинуты относительно начала координат на расстоянии $a = R$ и $a = 2R$, где: R – радиус внешней направляющей выпуклых решеток (рис.3).

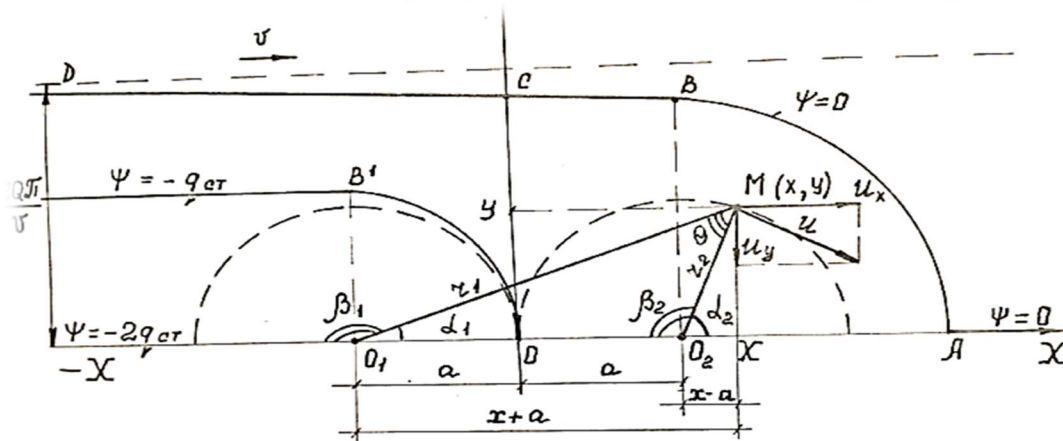


Рис.3. Расчетная схема наложения двух взаимодействующих стоков и транзитного потока

Полученные результаты аналитического решения позволяют сделать вывод о том, что совместная работа «п» – полутоков, схематизирующих выпуклые решетки продольном сечении транзитного потока, характеризуется следующими параметрами:

- шагом рассредоточения стоков « $2a$ » друг относительно друга при возможном расстоянии между полюсами в пределах « v » < « $2a$ » < « $2v$ » (« v » - ширина входного отверстия);
- углом направления вектора транзитной скорости к геометрической оси входа $165^\circ < \gamma < 195^\circ$;
- величиной скорости транзитного течения потока при варьировании ее в расчетах $0,1 > v > 0,5$ м/с;
- напряженностью стоков $Q_{ст}$, выражающей пропускную способность входных решеток на единицу их высоты с учетом степени стеснения стержнями:

$$Q_{ст} = 0,005 - 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$$

Результаты расчета имеют вполне логичное истолкование и физический смысл. Так, во избежание сквозного пересечения линиями тока транзитного потока плановых очертаний решеток местоположение граничной линии, отделяющей область питания от основного потока, должно быть такое, чтобы между ней и внешними направляющими решеток было достаточное расстояние (рис.4).

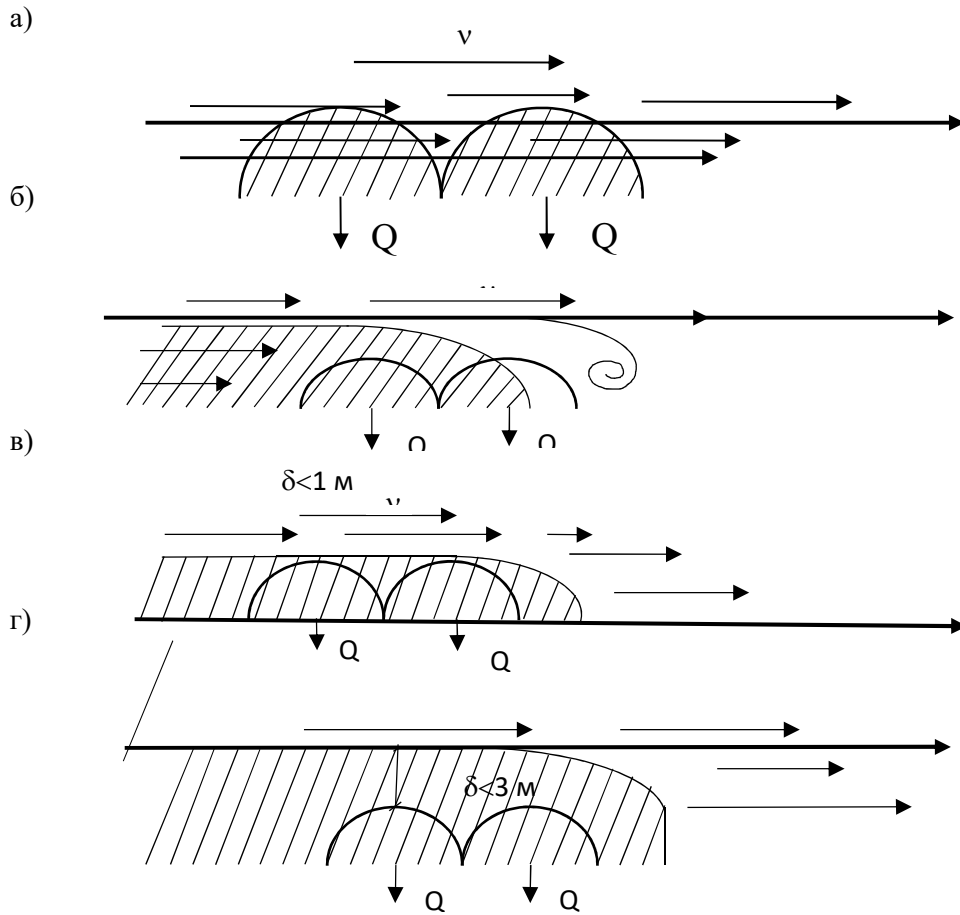


Рис.4. Расчетные взаимодействия двух стоков и транзитного потока

- а) $Q < 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$; $v > 0,25 \text{ м/с}$; $a = 0,45 \text{ м}$; $R = 0,225 \text{ м}$
 б) $Q < 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$; $v > 0,25 \text{ м/с}$; $0,9 > a > 0,45 \text{ м}$;
 в) $0,015 < Q < 0,03 \text{ м}^2/\text{с}$; $0,05 < v < 0,25 \text{ м/с}$; $a = 0,45 \text{ м}$;
 г) $Q > 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$; $v > 0,25 \text{ м/с}$; $a = 0,45 \text{ м}$;

Аналитическими расчетами получено соотношение между конструктивными размерами решеток и кинематическими параметрами внешнего потока, гарантирующими равномерное питание решеток:

$$R_{max} \leq \left(\frac{Q_{ct}}{v \cos \gamma} - na \right) + \sqrt{\frac{Q_{ct}^2}{v^2 \cos^2 \gamma} + n^2 a^2} \quad (4)$$

где:

n - количество решеток;

R_{max} - максимальный радиус выпуклых решеток.

Анализ неравенства показал, что с увеличением напряженности стока и угла направления вектора транзитной скорости « γ » в сочетании с уменьшением ее абсолютной величины « v », количества стоков « n » и шага расположения полюсов друг от друга « a » необходимо отдавать предпочтение большему радиусу внешней направляющей поверхности выпуклых решеток $R = 0,5b$ (b – ширина входного отверстия).

Благоприятный режим втекания по длине двух вплотную расположенных решеток радиусом $R = 0,225 \text{ м}$ при направлении транзитной скорости параллельной оси абсцисс обеспечивается в следующих диапазонах напряженности одного полустока $0,015 < Q_{ct} < 0,03 \text{ м}^2/\text{с}$, и скорости $0,05 < v < 0,2 \text{ м/с}$ (рис. 2.4в). С увеличением расчетной скорости транзитного потока $v > 0,25 \text{ м/с}$ при одновременном уменьшении напряженности стока $Q_{ct} < 0,05 \text{ м}^2/\text{с}$

выявлена неблагоприятная картина направления линий тока с неявно выраженной границей питания (рис.2.4а). Расчетный случай на рис.2.4г также следует избегать на практике из-за увеличенной зоны влияния решеток на внешний транзитный поток.

Тенденция уменьшения степени неравномерности распределения скоростей и средней их величины по внешним направляющим поверхности решеток характерна при увеличении напряженности стоков и уменьшении скорости транзитного потока, угла ориентации вектора скоростей втекания к направлению течений, расстояния между стоками. Вместе с тем, при одинаковом скоростном режиме и фиксированным взаимным расположением стоков выявлено увеличение соотношения скоростей втекания и транзитного потока (K_v) при возрастании напряженности стоков.

В случае постоянства напряженности стоков и транзитной скорости поворот оси абсцисс на угол $\gamma = 165^\circ$ значительно уменьшает соотношение K_v , в то время как средняя скорость втекания в стоки по абсолютной величине возрастает. Противоположный эффект достигается поворотом на тот же угол в обратную сторону, т.е. $\gamma = 195^\circ$.

Во всех случаях увеличение расстояния «а» между полюсами приводит к ухудшению средней скорости втекания и степени неравномерности ее распределения. Исключением из этого является расчетный случай максимального расстояния между стоками при отсутствии транзитных течений: степень неравномерности распределения скоростей втекания по поверхности решеток, расположенных вплотную, выше, чем при смещении одной из них вниз по течению транзитного потока. Влияние на соотношение скоростей K_v определяющих факторов - «Q», «а», «v», « γ » с увеличением скорости транзитного потока $v > 0,25$ м/с становится более ощутимее.

Учитывая вышесказанное, с целью увеличения водоотбора возможно «управлять» соотношением скоростей втекания и внешнего потока, оптимизируя радиус выпуклых входных решеток.

Полученные результаты позволят разработать методику расчета русловых водоприемников с выпуклыми решетками на входных отверстиях, отличающуюся от известных зависимостей взаимным учетом гидравлических параметров внешнего потока и конструктивных размеров водоприемников.

Такая методика позволит маневрировать геометрическими размерами съемных выпуклых решеток в зависимости от изменений внешней гидрологической обстановки в водоисточнике за счет регулирования расхода и скорости.

Совершенствование водоприемников из поверхностных источников в направлении замены плоских решеток на выпуклые позволит повысить эффективность забора воды при любых гидравлических параметрах водоисточника, тем самым повысить надежность противопожарного водоснабжения.

Список источников

1. АС 222986 СССР «Водоприемник для забора воды из водоема» /Образовский А.С.
2. АС 1266924 СССР «Речной водоприемник» /Голякова Е.И., Курганов А.М.
3. Голякова Е.И., Филкова А.П. Совершенствование водозаборов из поверхностных источников с целью обеспечения надежности противопожарного водоснабжения// Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 3 (26). С 34-39. <http://10.34987/vestnik.sibpsa.2022.91.73.003>.
4. Гуревич М.И. Теория струй идеальной жидкости. – 2-е изд., перераб. и доп.- М.: Наука, 1979. - 536 с.

References

1. Patent Reference 222986 USSR «Water intake for water intake from a reservoir» /Obrazovsky A.S.
2. Patent Reference 1266924 USSR «River water intake» /Golyakova E.I., Kurganov A.M.
3. Golyakova E.I., Filkova A.P. Improvement of water intakes from surface sources in order to ensure the reliability of fire-fighting water supply//
4. Siberian Fire and Rescue Bulletin. 2022. No. 3 (26). From 34-39. [http: 10.34987/ vestnik.sibpsa. 2022.91.73.003](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2022.91.73.003).
5. Gurevich M.I. Theory of ideal fluid jets. – 2nd ed., reprint. and additional- M.: Nauka, 1979. - 536 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 редакция 12.08.2023; одобрена после рецензирования 19.09.2023; принята к публикации 26.09.2023.

The article was submitted 12.08.2023, approved after reviewing 19.09.2023, accepted for publication 26.09.2023.