

Научная статья

УДК 631.6

doi: 10.28983/asj.y2023i5pp106-111

Теоретическое обоснование снижения гидравлического сопротивления в конфузоре всасывающего трубопровода

Фярид Кинжаевич Абдразаков, Денис Владимирович Логашов, Андрей Алексеевич Рукавишников
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия
e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Аннотация. Актуальность исследования заключается в теоретическом обосновании применения усовершенствованного раструба (конфузора) на всасывающей линии насосного агрегата мелиоративной насосной станции с целью снижения гидравлического сопротивления по сравнению с цилиндрической трубой. Представлена схема установившегося неравномерного осесимметричного движения воды в коническом круговом конфузоре. Объектом исследования является всасывающая линия насосного агрегата. Методы исследования. При проведении исследования использовались основные положения гидравлики несжимаемой жидкости, дифференциального и интегрального исчисления. Результаты исследования. В работе получено дифференциальное уравнение установившегося неравномерного осесимметричного движения воды в круговом конфузоре, в результате интегрирования которого доказано, что установка раструба на оголовке всасывающей линии позволяет уменьшить гидравлическое сопротивление всасывающей линии и увеличить высоту всасывания насосного агрегата.

Ключевые слова: всасывающая линия; гидравлическое сопротивление; насосные агрегаты; мелиоративная система.

Для цитирования: Абдразаков Ф. К., Логашов Д. В., Рукавишников А. А. Теоретическое обоснование снижения гидравлического сопротивления в конфузоре всасывающего трубопровода // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 106–111. <http://10.28983/asj.y2023i5pp106-111>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Theoretical justification for reducing the hydraulic resistance in the confuser of the suction pipeline

Fyarid K. Abdrazakov, Denis V. Logashov, Andrey A. Rukavishnikov

Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia
e-mail: abdrzakov.fk@mail.ru

Abstract. The relevance of the research lies in the theoretical substantiation of the application of an improved bell (confuser) on the suction line of the pump unit of the meliorative pumping station in order to reduce hydraulic resistance compared with a cylindrical tube. The scheme of the steady nonuniform axisymmetric movement of water in a conical circular confuser is presented. The object of the research is the suction line of the pumping unit. Research Methods. The basic principles of incompressible fluid hydraulics, differential and integral calculus have been used while carrying out the research. Research results. The differential equation of the steady state nonuniform axisymmetric movement of water in the circular confuser has been calculated. As a result of its integration it has been proved that installation of the branch pipe at the head of the suction line allows one to reduce hydraulic resistance of the suction line and to increase the suction lift of the pump unit.

Keywords: suction line; hydraulic resistance; pump units; reclamation system.

For citation: Abdrazakov F. K., Logashov D. V., Rukavishnikov A. A. Theoretical justification for reducing the hydraulic resistance in the confuser of the suction pipeline // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):106–111. (In Russ.). <http://10.28983/asj.y2023i5pp106-111>.





Введение. Насосные агрегаты являются одним из основных инструментов в системах мелиорации, которые позволяют эффективно обеспечивать водой орошаемые участки. Применение энергоэкономичных насосных агрегатов позволяет повысить урожайность и снизить эксплуатационные затраты на орошение путем экономии электрической энергии. Одним из эффективных путей экономии электрической энергии и ресурсосбережения является снижение гидравлического сопротивления всасывающих линий насосных агрегатов.

Нами был опубликован ряд научных трудов по состоянию мелиоративных систем, проблемам насосных агрегатов и возможным совершенствованиям всасывающего трубопровода, экспериментально были обоснованы оптимальные геометрические характеристики решетки и всасывающего раструба [1–7]. В данных публикациях была показана практическая значимость модернизации всасывающего раструба для мелиоративных станций. Целью данного исследования является теоретическое обоснование снижения гидравлического сопротивления всасывающей линии с конфузуром по сравнению с всасывающей линией с круглоцилиндрической трубой.

Методика исследований. При проведении исследования использовали метод эмпирического познания, а именно измерение и сравнение. В работе сравнивался усовершенствованный конфузор на всасывающей линии с традиционной трубой в качестве контрольного материала. Теоретический метод включал в себя реферирование, конспектирование и цитирование общих и специальных научных трудов ученых по данному наукоемкому направлению. В работе применяли математические и статистические методы для получения и установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями. Рабочая гипотеза заключается в том, что при изменении гидравлического уклона в коническом круговом конфузуре можно уменьшить гидравлическое сопротивление и увеличить высоту всасывания насосного агрегата, что позволит повысить его производительность и надежность работы.

Результаты исследований. Рассмотрим схему установившегося неравномерного движения воды в коническом круговом конфузуре (рис. 1).

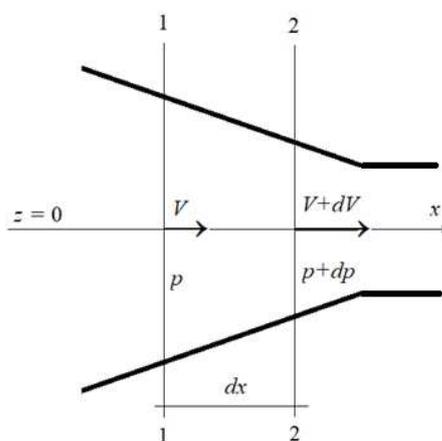


Рис. 1. Схема неравномерного движения в осесимметричном конфузуре

Движение будем считать осесимметричным и плавно изменяющимся. Введем следующие обозначения:

x – координатная ось симметрии;

$z = 0$ – плоскость сравнения;

1–1, 2–2 – расчетные сечения, находящиеся на бесконечно малом расстоянии dx друг от друга;

V, p – средняя скорость и гидродинамическое давление в сечении 1–1;

$V+dV, p+dp$ – то же в сечении 2–2;

гидродинамическое давление при плавно изменяющемся движении можно считать подчиняющимся гидростатическому закону [8].

При сделанных предположениях справедливо уравнение Бернулли [8], которое для сечений 1–1, 2–2 относительно плоскости сравнения $z = 0$ принимает вид

$$\alpha \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} = \alpha \frac{(v+dv)^2}{2g} + \frac{p+dp}{\gamma} + dh_{\text{тр}}, \quad (1)$$

где α – коэффициент Кориолиса; γ – вес единицы объема воды, $\gamma = \rho g$; $dh_{\text{тр}}$ – потеря напора (энергии) между расчетными сечениями.

Раскрывая скобки и пренебрегая бесконечно малой величиной $(dv)^2$, получим

$$\alpha \frac{dv^2}{2g} + \frac{dp}{\gamma} + dh_{\text{тр}} = 0. \quad (2)$$

Поскольку $dx \ll 1$, потери напора можно принять равным потерям напора при равномерном движении [8]

$$dh_{\text{тр}} = \frac{v^2}{C^2 R} dx, \quad (3)$$

где C – коэффициент Шези; R – гидравлический радиус.

С учетом (3) уравнение (2) принимает вид

$$\frac{d}{dx} \left(\alpha \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} \right) + \frac{v^2}{C^2 R} = 0. \quad (4)$$

Выражение в круглых скобках в уравнении (4) представляет собой гидродинамический напор H , поэтому окончательно дифференциальное уравнение неравномерного движения воды в конфузоре запишем следующим образом:

$$\frac{dH}{dx} = - \frac{v^2}{C^2 R}. \quad (5)$$

Уравнение (5) является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка.

Перепишем уравнение (5) в виде

$$- \frac{dH}{dx} = \frac{v^2}{C^2 R}.$$

Выражение в левой части представляет собой гидравлический уклон I_H при неравномерном движении воды [8], поэтому

$$I_H = \frac{v^2}{C^2 R}, \quad (6)$$

откуда следует

$$v = C \sqrt{I_H R}. \quad (7)$$

Формула (7) является известной локальной формулой Шези [8] для неравномерного движения. Она справедлива для любого сечения потока, но несправедлива для потока в целом. Для равномерного движения гидравлические параметры потока постоянны, гидравлический уклон равен пьезометрическому уклону $I_H = I$, поэтому из формулы (7) получается формула Дарси – Вейсбаха [8]:

$$\Delta H_{\text{тр}} = H_1 - H_2 = \lambda \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}, \quad (8)$$

где λ – гидравлический коэффициент трения, $\lambda = 8g/C^2$.

Проинтегрируем уравнение (5) в интервале $0 \leq x \leq l$ (рис. 2)

$$\Delta H \equiv H_1 - H_2 = \int_0^l \frac{v^2}{C^2 R} dx. \quad (9)$$

В интеграле (9) исключаем среднюю скорость и коэффициент Шези



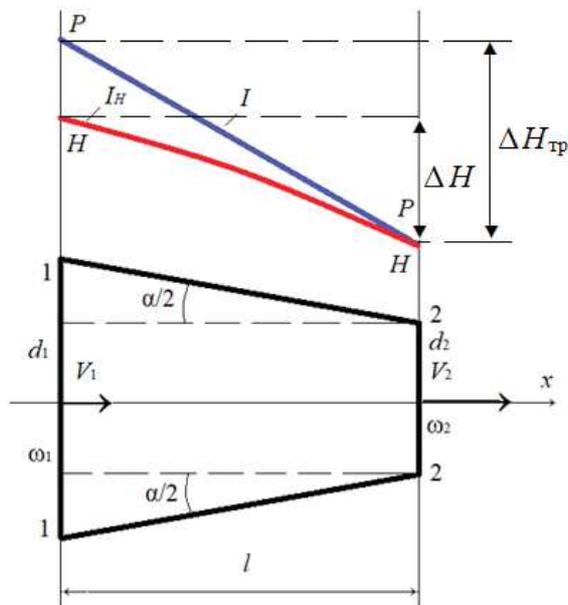


Рис. 2. Расчетная схема конфузора

$$V = \frac{Q}{\omega}; C^2 = \frac{8g}{\lambda}, \quad (10)$$

где Q – расход воды, м³/с; ω – площадь живого сечения потока, м², тогда

$$\Delta H = \frac{Q^2}{8g} \int_0^l \frac{\lambda}{\omega^2 R} dx. \quad (11)$$

Для кругового конфузора имеем:

$$\omega = \pi \frac{d^2}{4}; \chi = \pi d; R = \frac{\omega}{\chi} = \frac{d}{4}, \quad (12)$$

где χ – смоченный периметр [8].

Согласно рис. 2:

$$d = d_2 + 2(l - x) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (13)$$

где α – угол конусности, следовательно,

$$\omega = \frac{\pi}{4} \left[d_2 + 2(l - x) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]^2; R = \frac{1}{4} \left[d_2 + 2(l - x) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right], \quad (14)$$

при $\alpha = 0$ получаем гидравлические элементы живого сечения при равномерном движении в круглоцилиндрической трубе диаметром d_2 .

С учетом последних соотношений интеграл (11) принимает вид

$$\Delta H = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \int_0^l \frac{\lambda}{\left[d_2 + 2(l - x) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right]^5} dx. \quad (15)$$

Согласно исследованиям [12], гидравлический коэффициент трения слабо изменяется по длине конфузора, поэтому полагаем $\lambda \gg \text{const} = \lambda_2$ – гидравлическому коэффициенту трения в концевом сечении. В этом случае интеграл (15) вычисляется в квадратурах

$$\Delta H = \frac{Q^2 \lambda_2}{g\pi^2 \operatorname{tg}^5 \frac{\alpha}{2}} \left(\frac{1}{d_2^4} - \frac{1}{d_1^4} \right), \quad (16)$$

или с учетом рисунка 2:



$$\Delta H = \frac{2Q^2 \lambda_2 (d_1 + d_2)(d_1^2 + d_2^2)}{g \pi^2 d_1^4 d_2^4} l. \quad (17)$$

Формула (17) выражает полную потерю напора (энергии) в круговом коническом конфузоре длиной l . Как частный случай из (17) следует потеря напора в круглоцилиндрической трубе той же длины диаметром $d_2 = d_1$ (следствие формулы Дарси – Вейсбаха) [8]

$$\Delta H_{\text{тр}} = \frac{8Q^2 \lambda_2}{g \pi^2 d_2^5} l. \quad (18)$$

Непосредственным вычислением можно убедиться, что правая часть (17) всегда меньше правой части (18), т.е. $\Delta H < \Delta H_{\text{тр}}$ (см. рис. 2).

Рассмотрим последнее неравенство

$$\frac{2Q^2 \lambda_2 (d_1 + d_2)(d_1^2 + d_2^2)}{g \pi^2 d_1^4 d_2^4} l < \frac{8Q^2 \lambda_2}{g \pi^2 d_2^5} l, \quad (19)$$

или иначе:

$$\frac{(d_1 + d_2)(d_1^2 + d_2^2)}{d_1^4 d_2^4} < \frac{4}{d_2^5}. \quad (20)$$

Например, для конфузора с параметрами:

$$d_1 = 3,6 \text{ м}; d_2 = 1,2 \text{ м}; l = 1,2 \text{ м},$$

непосредственной подстановкой в неравенство (20) находим

$$0,198 < 1,608,$$

что доказывает цель данного исследования.

С геометрической точки зрения это означает, что линия энергии $H - H$ конфузора лежит ниже линии $P - P$ энергии равномерного движения в круглоцилиндрической трубе (см. рис. 2), или гидравлический уклон для конфузора всегда меньше гидравлического уклона для круглоцилиндрической трубы меньшего диаметра. Установка сородерживающей решетки несколько ослабит неравенство (19), но в целом не изменит тренда.

Один из вариантов всасывающего раструба [7] представлен на рис. 3.



Рис. 3. Всасывающий раструб

Заключение. Таким образом, использование усовершенствованного раструба (конфузора) на всасывающей линии вместо стандартной трубы постоянного диаметра, позволяет уменьшить гидравлическое сопротивление и увеличить высоту всасывания насосного агрегата, а все это позволяет повысить его производительность и надежность работы.



1. Абдразаков Ф. К., Носенко А. В., Поморова А. В. Результаты обследования насосных станций комсомольской оросительной системы // Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, тепло-газоснабжения и энергообеспечения: материалы VII очной науч.-практ. конф. / под ред. Ф.К. Абдразакова. Саратов, 2018. С. 21–25.
2. Абдразаков Ф. К., Узбякова Н. Н. Диагностика качества электрооборудования насосных станций // Механизация строительства. 2017. № 9. С. 34–37.
3. Абдразаков Ф. К., Логашов Д. В. Анализ работы насосных станций Комсомольской и Приволжской оросительных систем, недостатки и пути их совершенствования // Аграрный научный журнал. 2020. № 6. С. 67–71.
4. Абдразаков Ф. К., Логашов Д. В., Рукавишников А. А. Реконструкция всасывающего трубопровода с изменением раструба электрифицированных насосных станций Приволжской оросительной системы // Аграрный научный журнал. 2020. № 12. С. 81–84.
5. Бородкин Н. Н., Паламарчук Т. Н., Захаров В. А. Выбор и расчет базовых режимных параметров центробежных насосов для определения начального этапа кавитации // Сборник научных трудов ДонИЖТ. 2019. № 52. С. 82–91.
6. Ксенофонтова Т. К. Моделирование натурных испытаний железобетонных раструбных труб водохозяйственного назначения на внешнюю нагрузку // Природообустройство. 2020. № 2. С. 49–56.
7. Патент на полезную модель № 202653 U1 Российская Федерация, МПК E02B 11/00. Раструб всасывающего трубопровода мелиоративных насосных станций: № 2020133136: заявл. 07.10.2020; опубл. 01.03.2021 / Ф. К. Абдразаков, Д. В. Логашов, А. А. Глущенко; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова».
8. Штеренлихт Д. В. Гидравлика. М.: Колос С, 2004. 367 с.

REFERENCES

1. Abdrazakov F. K., Nosenko A. V., Pomorova A. V. Results of inspection of pumping stations of the Komsomolsk irrigation system. *Actual problems and prospects for the development of construction, heat and gas supply and energy supply*. Saratov, 2018: 21–25. (In Russ.).
2. Abdrazakov F. K., Uzbyakova N. N. Diagnostics of the quality of electrical equipment of pumping stations. *Construction mechanization*. 2017; 9: 34–37. (In Russ.).
3. Abdrazakov F. K., Logashov D. V. Analysis of the operation of pumping stations of the Komsomolsk and Volga irrigation systems, shortcomings and ways to improve them. *The agrarian scientific journal*. 2020; 6: 67–71. (In Russ.).
4. Abdrazakov F. K., Logashov D. V., Rukavishnikov A. A. Reconstruction of the suction pipeline with a change in the socket of the electrified pumping stations of the Volga Irrigation System. *The agrarian scientific journal*. 2020; 12: 81–84. (In Russ.).
5. Borodkin N. N., Palamarchuk T. N., Zakharov V. A. Choice and calculation of basic operating parameters of centrifugal pumps to determine the initial stage of cavitation. *Collection of scientific works of DonIZhT*. 2019; 52: 82–91. (In Russ.).
6. Ksenofontova T. K. Simulation of full-scale tests of reinforced concrete socket pipes for water management for external load. *Environmental management*. 2020; 2: 49–56. (In Russ.).
7. Utility model patent No. 202653 U1 Russian Federation, IPC E02B 11/00. The socket of the suction pipeline of reclamation pumping stations: No. 2020133136: Appl. 07.10.2020: publ. 03/01/2021 / F. K. Abdrazakov, D. V. Logashov, A. A. Glushchenko; applicant Federal State Educational Institution of Higher Education “Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov”. (In Russ.).
8. Shterenlicht D. V. *Hydraulics*. Moscow, 2004. 367 p. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 30.02.2023; одобрена после рецензирования 21.03.2023; принята к публикации 1.04.2023.

The article was submitted 30.02.2023; approved after reviewing 21.03.2023; accepted for publication 1.04.2023.

