

## Использование лопаток второго ряда для снижения гидравлических потерь центробежного насоса

Д.С. Дьяк ✉, М.Г. Рахутин ✉

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация  
✉ rahutin.mg@misis.ru

**Резюме:** В статье рассмотрен метод снижения гидравлических потерь центробежного насоса шахтного водоотлива за счет добавления лопаток второго ряда на примере рабочего колеса ЦНС-300-120. Добавленные лопатки, уменьшая завихрения жидкости на выходе из рабочего колеса, снижают потери энергии. Предложена модель с двумя рядами лопаток. Компьютерное моделирование рабочего колеса и гидравлического течения жидкости в программе «SolidWorks 2022» и «Ansys CFX» показало, что рассматриваемый метод позволяет увеличить напор в рабочей точке на 3,2–6,1% и гидравлический коэффициент полезного действия на 3,0–6,0%. Метод наиболее эффективен в рабочей точке при значениях напора  $H = 120$  м и величине подачи  $Q = 300$  м<sup>3</sup>/ч в рабочей зоне. За пределами рабочей зоны эффективность метода снижается. Использование насоса вне допустимой рабочей зоны не рекомендовано из-за возможности возникновения кавитации, перегрева перекачиваемой среды, проточной части, электропривода и увеличения внутренних перетоков рабочей жидкости. В результате чего наблюдается существенное снижение общего коэффициента полезного действия, что может привести к ускоренному износу насоса и выходу его из строя.

**Ключевые слова:** центробежный насос секционный, гидравлический коэффициент полезного действия, рабочее колесо, лопатки второго ряда, шахтный водоотлив, компьютерное моделирование

**Для цитирования:** Дьяк Д.С., Рахутин М.Г. Использование лопаток второго ряда для снижения гидравлических потерь центробежного насоса. *Горная промышленность*. 2025;(6):206–210. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-206-210>

## Using second row vanes to reduce hydraulic losses in a centrifugal pump

D.S. Dyak, M.G. Rakhutin ✉

National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation  
✉ rahutin.mg@misis.ru

**Abstract:** The article considers a method for reducing hydraulic losses of a mine drainage centrifugal pump by adding second-row blades using the example of the CNS-300-120 impeller. The added blades cut down the energy losses by reducing the fluid turbulence at the impeller outlet. A model with two rows of blades is proposed. Computer modeling of the impeller and hydraulic fluid flow in the SolidWorks 2022 and the Ansys CFX software suites showed that the proposed method allows increasing the pressure at the operating point by 3.2–6.1% and the hydraulic efficiency by 3.0–6.0%. The method is most effective at the operating point with pressure values of  $H = 120$  m and flow rate of  $Q = 300$  m<sup>3</sup>/h in the working area. Outside the working area, the efficiency of the method decreases. Using the pump outside the permissible operating range is not recommended due to the risk of cavitating, overheating of the pumped medium, flow path, electric drive, and increased internal working fluid flow. This results in a significant reduction in the overall efficiency, which can lead to accelerated wear and failure of the pump.

**Keywords:** sectional centrifugal pump, hydraulic efficiency, impeller, second row blades, mine drainage, computer modeling

**For citation:** Dyak D.S., Rakhutin M.G. Using second row vanes to reduce hydraulic losses in a centrifugal pump. *Russian Mining Industry*. 2025;(6):206–210. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-6-206-210>

### Введение

Центробежные насосы секционные (ЦНС) широко используются в шахтном водоотливе, в том числе и из-за возможности создавать высокий напор [1–3]. Доля энергозатрат, приходящаяся на системы водоотлива, в горнопромышленной отрасли составляет в среднем 10–30% от всей

потребляемой мощности. Это обусловлено тем, что на многих обводненных месторождениях количество подземных вод превышает количество добываемого полезного ископаемого. При этом содержание взвешенных частиц может составлять 10–20% от объема перекачиваемой жидкости [4; 5]. Проблема повышения производительности ЦНС, умень-

шения энергозатрат и, как следствие, снижения себестоимости добычи полезных ископаемых является объектом многочисленных исследований [6–8]. Например, новым направлением является повышение энергоэффективности центробежных насосов за счёт снижения шероховатости поверхности рабочего колеса с использованием технологии холодного газодинамического напыления (ХГН) алюминия и других материалов [9; 10].

В работе используется метод увеличения гидравлического КПД центробежного насоса за счет добавления лопаток второго ряда и использования CFD моделирования [11–13].

### Материалы и методы

В качестве объекта для проведения исследования и проектирования было выбрано рабочее колесо ЦНС-300-120 с эксплуатационными параметрами, представленными в табл. 1.

Таблица 1  
Эксплуатационные параметры рабочего колеса ЦНС-300-120

Параметр	Значение
Подача – Q, м <sup>3</sup> /ч	300
Напор – H, м	120
Скорость вращения вала, об/мин	1450
Коэффициент быстроходности	72,1
Перекачиваемая среда	Вода
Плотность – ρ, кг/м <sup>3</sup>	~ 1000
Количество лопаток – z <sub>1</sub> , шт.	7

Центробежный насос секционный – классическая гидравлическая лопастная машина [14; 15], предназначенная для сообщения механической энергии протекающей через нее жидкости, состоящая из основных элементов проточной части: всасывающего конфузора – 1, лопастных рабочих колес – 2, направляющих аппаратов – 3, нагнетательных диффузоров – 4 (рис. 1).

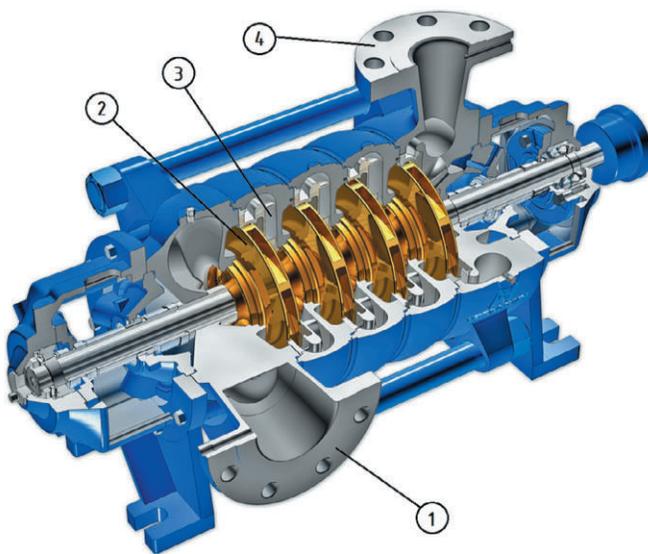


Рис. 1  
Центробежный насос секционный:  
1 – всасывающий конфузор;  
2 – лопастные рабочие колеса;  
3 – направляющие аппараты;  
4 – нагнетательный диффузор

Table 1  
Operating parameters of the CNS-300-120 impeller

Физические свойства перекачиваемой жидкости, геометрические параметры проточной части и скорость вращения вала насоса обуславливают гидродинамические свойства насоса, определяя поля скорости, давление потока жидкости и, как следствие, – зависимость КПД и напора насоса от подачи [16; 17].

С использованием программного обеспечения «Solid-Works 2022» и «ANSYS CFX» [18] была смоделирована трёхмерная модель рабочего колеса центробежного насоса с использованием лопаток второго ряда.

Были выполнены расчеты с использованием уравнения Эйлера и эмпирических соотношений, позволяющие получить предварительные значения основных параметров потока [19–21].

Гидравлический КПД –  $\eta_g$  определяется по формуле [22]:

$$\eta_g = \frac{g \cdot Q \cdot H}{P_{\text{теор}}}, \quad (1)$$

где  $g = 9,81$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $P_{\text{теор}}$  – теоретическая мощность насоса, Вт.

Теоретическая потребляемая мощность рассчитывается с использованием уравнения Эйлера:

$$P_{\text{теор}} = \rho \cdot Q \cdot (u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}), \quad (2)$$

где  $u_2$  – окружная скорость на выходе из рабочего колеса, м/с;  $u_1$  – окружная скорость на входе в рабочее колесо, м/с;  $c_{u2}$  – окружная составляющая скорости потока жидкости на выходе из рабочего колеса, м/с;  $c_{u1}$  – окружная составляющая скорости потока жидкости на входе в рабочее колесо, м/с.

За основу было взято рабочее колесо насоса ЦНС 300×120 с наружным диаметром  $D_2 = 440$  мм.

### Результаты и их обсуждение

На основе данных [23; 24] и геометрических параметров рабочего колеса насоса ЦНС-300-120 с количеством лопаток  $z_1 = 7$  было спроектировано рабочее колесо с добавлением лопаток второго ряда (рис. 2).

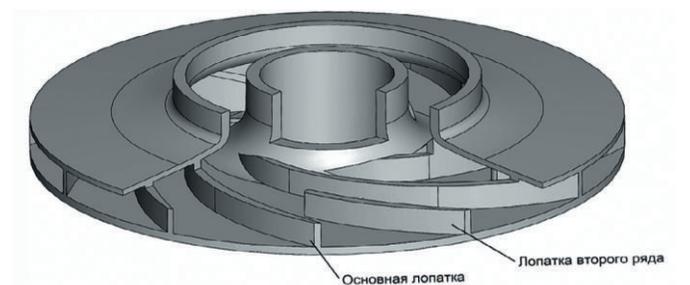


Рис. 2  
Рабочее колесо с лопатками второго ряда

Fig. 2  
An impeller with second row blades

Определение параметров рабочего колеса с лопатками второго ряда.

По значениям наружного диаметра –  $D_2 = 440$  мм и диаметра входа в рабочее колесо –  $D_1 = 120$  мм определен начальный диаметр лопаток второго ряда:

$$D_{\text{пр}} = D_2 - 0,6(D_2 - D_1). \quad (3)$$



## Список литературы / References

1. Husveg R., Husveg T., van Teeffelen N., Ottestad M., Hansen M.R. Improving separation of oil and water with a novel coalescing centrifugal pump. *SPE Production & Operations*. 2018;33(4):857–865. <https://doi.org/10.2118/188772-pa>
2. Gradilenko N., Lomakin V. Overview of methods for optimizing the flow of the centrifugal pump. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;963:012016. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/963/1/012016>
3. Волков А.В., Парыгин А.Г., Вихлянцев А.А., Дружинин А.А., Наумов А.В., Марков Д.В. и др. Анализ возможностей совершенствования отечественных центробежных насосов для нефтегазовой и химической промышленности. *Гидравлика*. 2016;(2):1–13. Режим доступа: <https://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER2/Volkov.pdf> (дата обращения: 12.05.2025).  
Volkov A.V., Parygin A.G., Vikhliantsev A.A., Druzhinin A.A., Naumov A.V., Markov D.V. et al. Analysis of domestic centrifugal pumps improvement opportunities for the oil and gas and chemical industry. *Gidravlika*. 2016;(2):1–13. (In Russ.) Available at: <https://hydrojournal.ru/images/JOURNAL/NUMBER2/Volkov.pdf> (accessed: 12.05.2025).
4. Александров В.И., Авксентьев С.Ю., Махараткин П.Н. Энергоэффективность систем шахтного водоотлива. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2017;(2):253–268. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/253\\_268\\_2\\_2017.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/253_268_2_2017.pdf) (дата обращения: 12.05.2025).  
Aleksandrov V.I., Avksent'ev S.Yu., Makharatkin P.N. Energy efficiency of mine water outflow. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2017;(2):253–268. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/253\\_268\\_2\\_2017.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2017/2/253_268_2_2017.pdf) (accessed: 12.05.2025).
5. Ovchinnikov N.P. Assessment of mine water solid phase impact on section pumps performance in the development of kimberlite ores. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):150–160. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-150-160>
6. Галдин Д.Н., Кретинин А.В., Печкуров С.В. Оптимизация профиля пространственного рабочего колеса центробежного насоса с использованием параметризованной модели проточной части и искусственной нейронной сети. *Насосы. Турбины. Системы*. 2021;(3):22–31.  
Galdin D.N., Kretinin A.V., Pechkurov S.V. Optimization of the spatial impeller profile of a centrifugal pump using a parametrized model of a flow part and an artificial neural network. *Pumps. Turbines. Systems*. 2021;(3):22–31. (In Russ.)
7. Чураков Е.О., Макаров В.Н., Макаров Н.В., Бельских А.М. Этапы технического совершенствования центробежных насосов шахтного водоотлива. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2024;30(1):81–89. Режим доступа: <https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/031024031010-Churakov.pdf> (дата обращения: 12.05.2025).  
Churakov E.O., Makarov V.N., Makarov N.V., Belskikh A.M. Stages of technical improvement of mine drainage centrifugal pumps. *Transbaikalian State University Journal*. 2024;30(1):81–89. (In Russ.) Available at: <https://zabvestnik.com/wp-content/uploads/031024031010-Churakov.pdf> (accessed: 12.05.2025).
8. Yasser E., El-Emam M.A., Bai L., Zhou L. Numerical investigation of particle behavior and erosion wear in a centrifugal pump using coarse-grained Discrete Element Method. *Particulate Science and Technology*. 2024;42(8):1361–1379. <https://doi.org/10.1080/02726351.2024.2388541>
9. Зотов В.В., Мнацаканян В.У., Базлин М.М., Лакшинский В.С., Дятлова Е.В. Повышение ресурса рабочих колес центробежных насосов шахтного водоотлива. *Горная промышленность*. 2024;(2):143–146. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-143-146>  
Zotov V.V., Mnatsakanyan V.U., Bazlin M.M., Lakshinsky V.S., Dyatlova E.V. Extending the service life of centrifugal dewatering pump impellers in mines. *Russian Mining Industry*. 2024;(2):143–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2024-2-143-146>
10. Ризаев А.А., Абдуазизов Н.А. Исследование износа рабочего колеса центробежных насосов и выбор способа повышения износостойкости рабочего колеса насоса. *Universum: Технические науки*. 2023;(7-2):58–60. Режим доступа: [https://7universum.com/pdf/tech/7\(112\)%20\[15.07.2023\]/Rizaev.pdf](https://7universum.com/pdf/tech/7(112)%20[15.07.2023]/Rizaev.pdf) (дата обращения: 12.05.2025).  
Rizaev A.A., Abduazizov N.A. Investigation of wear of impeller of centrifugal pumps and choice of method of increasing wear resistance of pump impeller. *Universum: Tekhnicheskie nauki*. 2023;(7-2):58–60. (In Russ.) Available at: [https://7universum.com/pdf/tech/7\(112\)%20\[15.07.2023\]/Rizaev.pdf](https://7universum.com/pdf/tech/7(112)%20[15.07.2023]/Rizaev.pdf) (accessed: 12.05.2025).
11. Yüksel O., Köseoğlu B.. Energy efficiency optimization on centrifugal pumps: a content analysis. In: *1st International Congress on Ship and Marine Technology, Green Technologies, Istanbul, Türkiye, 8–9 December 2016*, pp. 781–795. <https://www.researchgate.net/publication/311706614>
12. Zhang J., Yuan Y., Yuan S., Lu W., Yuan J. Experimental studies on the optimization design of a low specific speed centrifugal pump. In: *ASME-JSME-KSME 2011 Joint Fluids Engineering Conference, July 24–29, 2011, Hamamatsu, Japan*. 2011, pp. 561–569. <https://doi.org/10.1115/ajk2011-22005>
13. Nandan R., Pasha S.M., Ashish D., Nookaraju B.Ch. Computational fluid dynamics (CFD) analysis of centrifugal pumps. *E3S Web of Conferences*. 2023;391:01088. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339101088>
14. Wang C.-N., Yang F.-C., Nguyen V.T.T., Vo N.T.M. CFD analysis and optimum design for a centrifugal pump using an effectively artificial intelligent algorithm. *Micromachines*. 2022;13(8):1208. <https://doi.org/10.3390/mi13081208>
15. Иванов Е.А., Жарковский А.А., Борщев И.О. Улучшение гидравлических и пульсационных характеристик многоступенчатых центробежных насосов. *Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки*. 2018;24(3):126–138. <https://doi.org/10.18721/JEST.240311>  
Ivanov E.A., Zharkovsky A.A., Borshchev I.O. Increase of hydraulic efficiency and pulsation characteristics of multistage centrifugal pumps. *St. Petersburg State Polytechnic University Journal of Engineering Science and Technology*. 2018;24(3):126–138. (In Russ.) <https://doi.org/10.18721/JEST.240311>

16. Спиридонов Е.К., Прохасько Л.С. *Расчет и проектирование лопастных насосов*. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ; 2004. 62 с.
17. Габдулов И.Н. Расчет рабочего колеса центробежного насоса. *Аллея науки*. 2019;(9):242–251. Режим доступа: [https://alley-science.ru/domains\\_data/files/05September2019/RASChET%20RABOChEGO%20KOLESA%20CENTROBEZhNOGO%20NASOSA.pdf](https://alley-science.ru/domains_data/files/05September2019/RASChET%20RABOChEGO%20KOLESA%20CENTROBEZhNOGO%20NASOSA.pdf) (дата обращения: 12.05.2025).  
Gabdulov I.N. Calculation of a centrifugal pump impeller. *Alleya Nauki*. 2019;(9):242–251. (In Russ.) Available at: [https://alley-science.ru/domains\\_data/files/05September2019/RASChET%20RABOChEGO%20KOLESA%20CENTROBEZhNOGO%20NASOSA.pdf](https://alley-science.ru/domains_data/files/05September2019/RASChET%20RABOChEGO%20KOLESA%20CENTROBEZhNOGO%20NASOSA.pdf) (accessed: 12.05.2025).
18. Nossir E., Elkelawy M., Mohamad H.A.E., Elsamadony M. A comprehensive review and background on centrifugal pump performance under multiphase flow and varying operating conditions. *Pharos Engineering Science Journal*. 2025;2(1):117–128. <https://doi.org/10.21608/pej.2025.371163.1026>
19. Савин Л.А., Григорьев С.В., Шахбанов Р.М. Обоснование возможностей повышения энергетических характеристик центробежных насосов. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2015;(7-2):122–127.  
Savin L.A., Grigoriev S.V., Shaxbanov R.M. Possibility of improvement energy performance of centrifugal pumps. *News of the Tula State University. Technical Sciences*. 2015;(7-2):122–127. (In Russ.)
20. Li W.-G. Effects of viscosity of fluids on centrifugal pump performance and flow pattern in the impeller. *International Journal of Heat and Fluid Flow*. 2000;21(2):207–212. [https://doi.org/10.1016/s0142-727x\(99\)00078-8](https://doi.org/10.1016/s0142-727x(99)00078-8)
21. Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П. *Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение. Энциклопедический справочник*. Пермь: ООО «Пресс-Мастер»; 2007. 645 с.
22. Nguyen V.T.T., Vo T.M.N. Centrifugal pump design: An optimization. *The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics*. 2022;17:136–151. Available at: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2653833> (accessed: 12.05.2025).
23. Попов В.М. *Шахтные насосы (теория, расчет, эксплуатация)*. М.: Недра; 1993. 224 с.
24. Кузнецов А.В., Панайотти С.С., Савельев А.И. *Автоматизированное проектирование многоступенчатого центробежного насоса*. Калуга; 2013. 170 с.
25. Твердохлеб И.Б., Князева Е.Г., Бирюков А.И., Луговая С.О. К вопросу о создании проточной части многоступенчатого насоса с минимальными радиальными размерами. В кн.: *ГЕРВИКОН-2011: материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., г. Сумы, 6–9 сент. 2011 г.* Режим доступа: <https://mnz.ru/stati/7-k-voprosu-o-sozdanii-protchnoj-chasti-mnogostupenchatogo-asosa-s-minimalnymi-radialnymi-razmerami> (дата обращения: 12.05.2025).
26. Zhao Z., Bai L., Su X., Chen J., Qu B., Zhou L. Computational fluid dynamics – discrete element method simulation and experimental study of particle transport mechanism in a centrifugal pump. *Physics of Fluids*. 2025;37(2):023380. <https://doi.org/10.1063/5.0256782>
27. Валухов С.Г., Галдин Д.Н., Оболонская Е.М., Фофанов Ю.А. Численное исследование влияния формы лопасти рабочего колеса ЦН на пульсации давления. *Насосы. Турбины. Системы*. 2023;(2):78–89.  
Valyukhov S.G., Galdin D.N., Obolonskaya E.M., Fofonov Y.A. Numerical study of the impeller blade shape influence of a centrifugal pump on pressure pulsation. *Pumps. Turbines. Systems*. 2023;(2):78–89. (In Russ.)

**Информация об авторах**

**Рахутин Максим Григорьевич** – доктор технических наук, профессор, Горный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-5873-5550>; e-mail: [rahutin.mg@misis.ru](mailto:rahutin.mg@misis.ru)

**Дьяк Дмитрий Сергеевич** – аспирант, Горный институт, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», г. Москва, Российская Федерация; e-mail: [dyak.ds2@mail.ru](mailto:dyak.ds2@mail.ru)

**Information about the authors**

**Maxim G. Rakhutin** – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-5873-5550>; e-mail: [rahutin.mg@misis.ru](mailto:rahutin.mg@misis.ru)

**Dmitry S. Dyak** – Postgraduate Student, Mining Institute, National University of Science and Technology “MISIS”, Moscow, Russian Federation; e-mail: [dyak.ds2@mail.ru](mailto:dyak.ds2@mail.ru)

**Article info**

Received: 27.08.2025

Revised: 27.10.2025

Accepted: 07.11.2025

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 27.08.2025

Поступила после рецензирования: 27.10.2025

Принята к публикации: 07.11.2025