

ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ, ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА / ELECTROTECHNOLOGY, ELECTRICAL EQUIPMENT AND
POWER SUPPLY OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ВИХРЕВОГО НАСОСА

Научная статья

Оськин С.В.^{1,*}, Дидыч В.А.², Нагучев З.Х.³

¹ ORCID : 0000-0001-7274-5229;

^{1,2,3} Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kgauem[at]yandex.ru)

Аннотация

Активизация застроек сельских территорий обострило проблему водоснабжения и водоотведения. Для таких технологий часто используются вихревые насосы. Несмотря на преимущества этих насосов в виде высоких напоров, при малых производительностях они имеют недостаток – низкий коэффициент полезного действия (КПД). Это приводит к необходимости наличия более тщательного анализа работы при изменениях напоров в трубопроводах. Предложен способ анализа рабочих характеристик вихревых насосов с использованием относительных единиц. С помощью этого способа определена оптимальная рабочая точка насоса, которая соответствует относительной производительности равной 0,7 при относительном напоре равном 0,3. Сопоставление полученных характеристик с реальными подтвердило полученные значения. Получен оптимальный интервал работы вихревого насоса – изменение производительности от 0,5 до 0,9 от номинального значения. Предложенный способ получения рабочих характеристик в относительных единицах позволит анализировать работу насоса при значительных колебаниях напора, не прибегая к фактическим данным.

Ключевые слова: насос, напор, энергоэффективность, водоснабжение.

DETERMINATION OF THE EFFECTIVE OPERATING MODE OF THE VORTEX PUMP

Research article

Oskin S.V.^{1,*}, Didich V.A.², Naguchev Z.K.³

¹ ORCID : 0000-0001-7274-5229;

^{1,2,3} Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

* Corresponding author (kgauem[at]yandex.ru)

Abstract

The intensified development of rural areas has exacerbated the problem of water supply and wastewater disposal. Vortex pumps are often used for these technologies. Although these pumps have the advantage of high heads, they have the disadvantage of low efficiency at low flow rates. This leads to the need to have a more thorough analysis of the performance for variations in pipeline heads. A method of analysing the performance of vortex pumps using relative units is proposed. Using this method, the optimum operating point of the pump is determined, which corresponds to a relative capacity equal to 0.7 at a relative head equal to 0.3. Comparison of the obtained characteristics with the real ones confirmed the values obtained. The optimum interval of operation of the vortex pump is a change of productivity from 0.5 to 0.9 from nominal value is received. The proposed method of obtaining operating characteristics in relative units will allow analysing the pump operation at significant head fluctuations without resorting to actual data.

Keywords: pump, head, energy efficiency, water supply.

Введение

Активная застройка малоэтажными домами и коттеджами сельских территорий выявила проблему низкой надежности и эффективности водоснабжения и водоотведения. Увеличивается нагрузка на водоснабжающие и канализационные системы, которые имеют высокую степень износа [1], [2]. Как правило, в муниципальных образованиях отсутствуют достаточные средства на проведение реконструкции систем водоотведения. Это приводит к возникновению частых аварий в системе коммунальных хозяйств, что наносит технологический и часто экологический ущерб. В отдельных сельских поселениях возникает дефицит воды, и подача данного ресурса происходит по определенным временным интервалам. Необходимо также учитывать, что в сельских районах часто полив растений в приусадебных участках производится с общего водопровода. В засушливые периоды года необходима дополнительная подача воды в систему с повышенным давлением. В то же время все больше приходится строить дренажных сооружений для отведения ливневых и грунтовых вод. Особенно в осенне-летний период количество осадков резко возрастает, что приводит к подтоплениям отдельных территорий. Насосные станции фекального и дренажного типа могут работать при значительном изменении статического уровня в процессе работы. Появление повышенных расходов воды при введении в эксплуатацию нового жилья приводит к недоотпуску этого ресурса потребителям. Такая ситуация иногда создает невозможность создать достаточные напоры для подачи воды на определенный статический уровень. В связи с этим появляются системы подкачки воды для создания необходимого напора. Все это приводит к тому, что чаще стали устанавливаться насосные станции с вихревыми насосами (рис. 1, 2).



Рисунок 1 - Внешний вид вихревых насосов (1)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24.1>



Рисунок 2 - Внешний вид вихревых насосов (2)
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24.2>

Такие насосы отличаются от других типов конструкцией рабочих органов и характеристиками. Вихревые насосы используют, где требуются небольшие подачи, но сравнительно высокие напоры. Данные насосы более просты по конструкции, обладают свойствами самовсасывания, имеют круто падающую напорную характеристику и круто возрастающую зависимость мощности от производительности (при ее снижении). Основным недостатком вихревого насоса является низкий коэффициент полезного действия (КПД) – от 25 до 50% [3], [4]. При изменении напора рабочая точка насоса может далеко уходить от эффективного режима, что приводит к понижению и так малого КПД. В связи с этим целью исследований является анализ характеристик вихревого насоса при работе с колебаниями статического напора и определение интервалов энергоэффективных режимов работы.

Методы и принципы исследования

Для всех типов насосов основным показателем энергетической эффективности является его КПД. Этот показатель зависит от нескольких параметров самого насоса и параметров потребителя водного ресурса. Исследования, представленные в литературе [5] дают возможность получить следующее выражение для определения КПД насоса в зависимости от относительных значений производительности и напора:

$$\eta_H = Q^* \frac{H^*}{H^* + \alpha \lambda \delta_e}, \quad (1)$$

где $Q^* = \frac{Q}{Q_{\max}}$ – относительная производительность; $H^* = \frac{H}{H_{\max}}$ – относительный напор; α – корректирующий коэффициент, можно принять равный 2; λ – коэффициент трения, можно взять равным 0,09; δ_e – окружной угол находится в интервале от 4,7 до 5,8.

В результате подстановки коэффициентов в формулу (1) получим следующее выражение:

$$\eta_H = Q^* \frac{H^*}{H^*+1} \quad (2)$$

В источнике [1] приводится формула для определения напора насоса:

$$H = H_{\max} \cdot \left(1 - \frac{Q}{Q_{\max}}\right) \quad (3)$$

Разделив обе части уравнения на H_{\max} получим

$$H^* = 1 - Q^* \quad (4)$$

На основе экспериментальных исследований [5] установлено отношение максимальных напоров и производительностей к значениям в нулевых точках:

$$Q_{\max} = \frac{Q_0}{(0,6 \div 0,75)}; H_{\max} = \frac{H_0}{(0,25 \div 0,4)} \quad (5)$$

С учетом полученных формул выражение для КПД насоса будет иметь вид:

$$\eta_H = 3,3 \cdot Q^* \frac{1-0,7Q^*}{4,3-0,7Q^*} \quad (6)$$

Данную зависимость можно представить в графическом виде (рис. 3). Как видно из данного рисунка график имеет максимум, который соответствует наиболее эффективному режиму работы насоса.

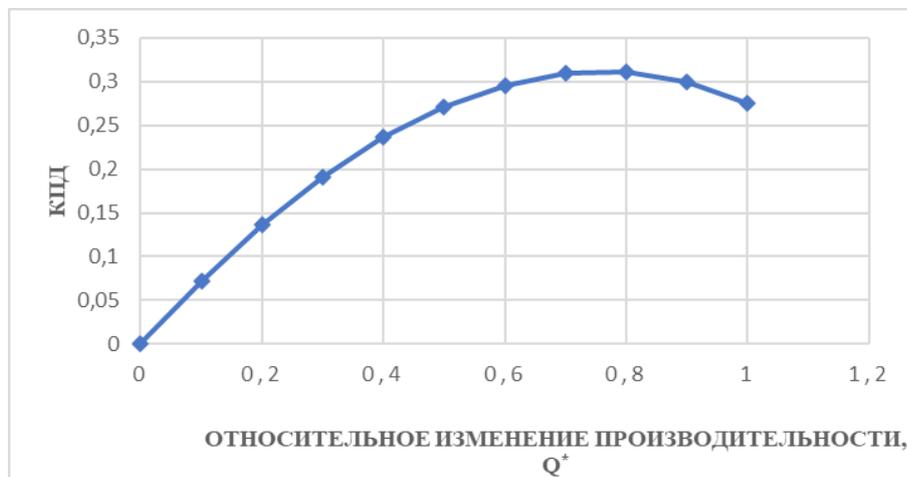


Рисунок 3 - Зависимость КПД вихревого насоса от его относительной производительности

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24.3>

Для определения точки с максимальным значением КПД продифференцируем уравнение (6) по dQ^* и приравняем к 0:

$$\eta_H \frac{d\eta_H}{dQ^*} = \left[3,3 \cdot Q^* \frac{1-0,7Q^*}{4,3-0,7Q^*} \right] = 0 \quad (7)$$

Исключив промежуточные преобразования и решения, не имеющие смысла для физического процесса, получим:

$$3,3 - 3,3 \cdot 1,4Q^* = 0; Q^* = \frac{1}{1,4} = 0,71 \quad (8)$$

Таким образом, максимальное значение КПД насоса будет наблюдаться при относительной его производительности равной 0,7.

Основные результаты

Для любых насосов обычно строятся совместные графики основных их характеристик, что позволяет находить наиболее эффективные точки работы насосных систем. Если построить совместные графики КПД насоса и относительного напора, то можно определить рабочую точку насоса с максимальным КПД (рис. 4).

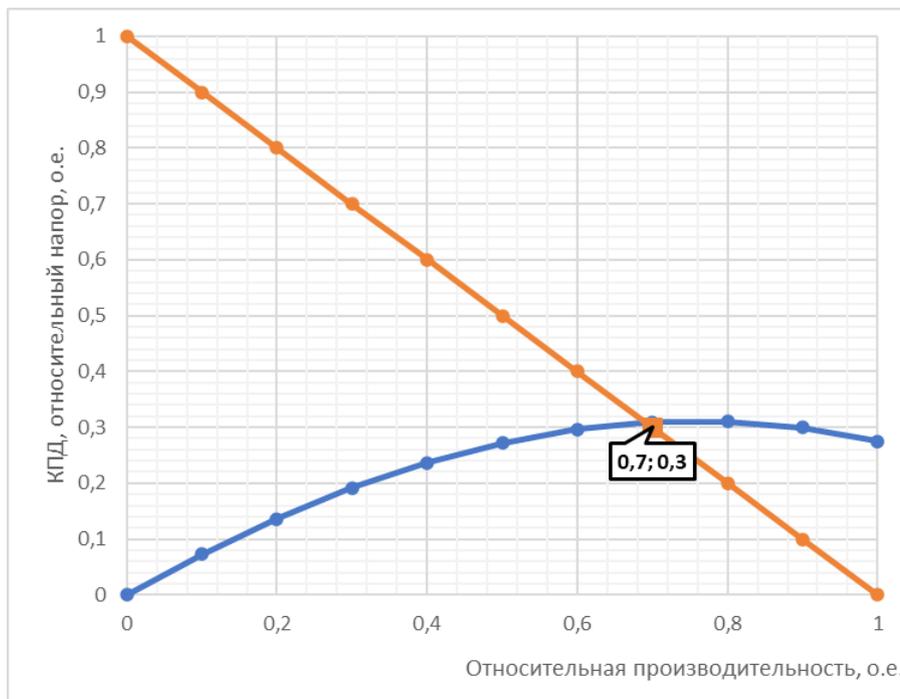


Рисунок 4 - Зависимости КПД насоса и напора от относительной производительности
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24.4>

Сопоставления данного графика с фактическими энергетическими характеристиками отдельных насосов [3] показало их хорошее совпадение (рис. 5).

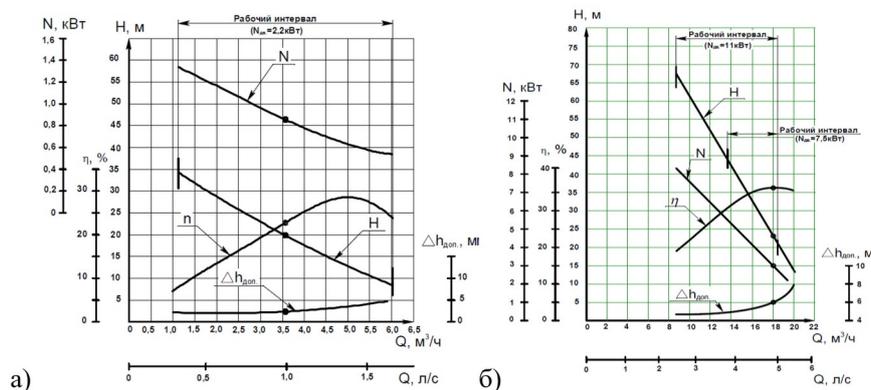


Рисунок 5 - Характеристики вихревых насосов типа ВК и ВКС
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.24.5>

Примечание: а) ВК2/26, б) ВКС5/24

Как видно из приведенных характеристик рисунка 4, совпадает не только их вид, но и значения самого КПД (максимальное КПД на уровне 0,35), а также положение оптимальной рабочей точки. Можно рекомендовать энергоэффективный режим работы насоса в интервале изменения производительности от 0,5 до 0,9 от номинального значения.

В дальнейшем необходимо проводить анализ работы насоса совместно с магистралью и электрической машиной. Это связано с тем, что у каждого отдельного элемента системы водоснабжения имеется своя оптимальная энергоэффективная точка работы и нужно найти общий режим работы с максимальным КПД [6], [7], [8], [9], [10]. Так как возможна работа насосной системы в широком интервале изменения статического напора, то возникает необходимость регулирования частоты вращения приводного электродвигателя. Такое регулирование позволит поддерживать работу насоса с высоким КПД и, соответственно, экономить электроэнергию. В связи с этим нужно проводить дальнейшие исследования работы насосной системы с частотным преобразователем и по уточнению закона регулирования.

Заключение

Особые характеристики вихревых насосов – высокие напоры при малых производительностях определяют сферу их применения. Такие насосы используют в системах водоснабжения для повышения давления, транспортирования фекальных жидкостей, орошения и откачки дренажных вод и т.д. Часто насосам приходится работать при значительных колебаниях статического уровня жидкости. Негативной составляющей этих насосов является низкий КПД – порядка 0,3–0,4. В связи с этим очень важно поддерживать рабочую точку насоса на максимальном уровне.

Проведенный анализ зависимости КПД и напора от производительности в относительных единицах позволил установить оптимальное ее значение, которое равно 0,7. Сопоставление с реальными характеристиками насосов типа ВКС показало хорошее совпадение. Следовательно, полученные выражения для характеристик насосов в относительных единицах можно использовать для анализа работы вихревых насосов в различных режимах без использования конкретных характеристик в именованных единицах.

Работа вихревого насоса в системе регулируемого электропривода с использованием частотных преобразователей приведет к снижению потребления электрической энергии.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Ассоциация производителей трубопроводных систем АПТС. — URL: <http://www.rapts.ru/analitika/> (дата обращения: 17.10.2023).
2. Кузнецов Е.П. Техника и технологии отраслей городского хозяйства: Учеб. Пособие / Е.П. Кузнецов, А.М. Дыбов, Н.М. Сутырин. — СПб.: СПбГИЭУ, 2005. — 199 с.
3. Насосы вихревые типов ВК, ВКС, ВКО. — URL: <https://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/20f/re-nasosy-vikhrevyye-tipa-vk.pdf> (дата обращения: 17.10.2023).
4. Насосное и промышленное оборудование Русмаш. — URL: <https://www.nporusgidro.com/catalog/promyshlennye-nasosy> (дата обращения: 17.10.2023).
5. Спасский К.Н. Новые насосы для малых подач и высоких напоров / К.Н. Спасский, В.В. Шаумян. — М.: «Машиностроение», 1972. — 160 с.
6. Дидыч В. А. Энергосбережение в насосных установках системы мелиорации и орошения / С. В. Оськин, В. А. Дидыч // Известия академии электротехнических наук. — 2011. — №2. — С. 55-59.
7. Дидыч В. А. Повышение эффективности насосных агрегатов в системах мелиорации и орошения / С. В. Оськин, В. А. Дидыч // Механизация и электрификация сельского хозяйства. — 2011. — №6. — С. 23-24.
8. Гоппе Г.Г. Сравнительная оценка потерь энергии в турбомашинах при двух способах управления их производительностью / Г. Гоппе // Энергосбережение и водоподготовка. — 2009. — №1(59). — С. 49.
9. Оськин С.В. Энергосбережение в насосных установках экологически безопасных систем мелиорации и орошения / С.В. Оськин, В.А. Дидыч // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. — 2013. — № 3-4 (15-16). — С. 145-154.
10. Os'kin S. V. Key ways of energy saving in pump units for melioration and irrigation systems / S. V. Os'kin, V. A. Didych, A. G. Vozmilov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017. — p. 1-4. — DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076304.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Associaciya proizvoditelej truboprovodnyh sistem APTS [Association of Manufacturers of Pipeline Systems APS]. — URL: <http://www.rapts.ru/analitika/> (accessed: 17.10.2023) [in Russian].
2. Kuznecov E.P. Tekhnika i tekhnologii otraslej gorodskogo hozyajstva: Ucheb. Posobie [Equipment and technologies of urban economy branches: Studies. Stipend] / E.P. Kuznecov, A.M. Dybov, N.M. Sutyurin. — Spb.: SPbGIEU, 2005. — 199 p. [in Russian]
3. Nasosy vikhrevye tipov VK, VKS, VKO [Vortex pumps of VK, VKS, VKO types]. — URL: <https://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/20f/re-nasosy-vikhrevyye-tipa-vk.pdf> (accessed: 17.10.2023) [in Russian].
4. Nasosnoe i promyshlennoe oborudovanie Rusmash [Pumping and industrial equipment Rusmash]. — URL: <https://www.nporusgidro.com/catalog/promyshlennye-nasosy> (accessed: 17.10.2023) [in Russian].
5. Spasskij K.N. Novye nasosy dlya malyh podach i vysokih naporov [New pumps for small flows and high pressures] / K.N. Spasskij, V.V. SHAumyan. — M.: «Mashinostroenie», 1972. — 160 p. [in Russian]
6. Didych V. A. Energoberezhenie v nasosnyh ustanovkakh sistemy melioracii i orosheniya [Energy saving in pumping units of reclamation and irrigation systems] / S. V. Os'kin, V. A. Didych // Izvestiya akademii elektrotekhnicheskikh nauk [Proceedings of the Academy of Electrical Sciences]. — 2011. — №2. — P. 55-59 [in Russian].

7. Didych V. A. Povyshenie effektivnosti nasosnyh agregatov v sistemah melioracii i orosheniya [Improving the efficiency of pumping units in reclamation and irrigation systems] / S. V. Os'kin, V. A. Didych // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva [Mechanization and electrification of agriculture]. — 2011. — №6. — P. 23-24 [in Russian].

8. Goppe G.G. Sravnitel'naya ocenka poter' energii v turbomashinah pri dvuh sposobah upravleniya ih proizvoditel'nost'yu [Comparative assessment of energy losses in turbomachines with two methods of controlling their performance] / G. Goppe // Energoberezhenie i vodopodgotovka [Energy saving and water treatment]. — 2009. — №1(59). — P. 49 [in Russian].

9. Os'kin S.V. Energoberezhenie v nasosnyh ustanovkakh ekologicheski bezopasnyh sistem melioracii i orosheniya [Energy saving in pumping installations of environmentally friendly reclamation and irrigation systems] / S.V. Os'kin, V.A. Didych // CHrezvychajnye situacii: promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost [Hazardous situations: industrial and environmental safety]. — 2013. — № 3-4 (15-16). — P. 145-154. [in Russian]

10. Os'kin S. V. Key ways of energy saving in pump units for melioration and irrigation systems / S. V. Os'kin, V. A. Didych, A. G. Vozmilov // 2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2017. — p. 1-4. — DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076304.