

Научная статья
УДК 621.6

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОСЕВЫХ НАСОСОВ

А.А. Лагуточкин^{1,*}

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

* E-mail: a.lagutochkin@internet.ru

Аннотация. В статье приведены графические результаты расчета показателей энергоэффективности осевых насосов, включая коэффициент полезного действия (КПД) и показатель удельных энергозатрат, на базе данных производителей. Для всех исследуемых насосов прослеживается подобная зависимость показателя удельных энергозатрат от величины подачи и несогласованность с КПД. В результате сравнительной оценки установлено, что величина рабочего диапазона подачи и настройки угла лопастей не влияют на применимость зависимости снижения удельных затрат энергии на перекачивание жидкости при эксплуатации ближе к максимальной (правой) границе рабочей области. Методика подбора осевых насосов по показателю удельных энергозатрат может быть обоснованно применима в качестве критерия/рекомендации для проектирования систем водоснабжения вместо традиционной, опирающейся на зону наибольшего значения коэффициента полезного действия.

Ключевые слова: осевые насосы; подбор насосов; рабочая точка; энергоэффективность; коэффициент полезного действия; насосы низкого давления.

Для цитирования: Лагуточкин А.А. Сравнительная оценка показателей энергоэффективности осевых насосов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. №2. С. 115–126.

Original article

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF AXIAL PUMPS

A.A. Lagutochkin^{1,*}

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

* E-mail: a.lagutochkin@internet.ru

Abstract. The article presents the graphical results of calculating the energy efficiency indicators of axial pumps, represented by the coefficient of performance (COP) and the indicator of specific energy consumption based on the database of manufacturers. For all the studied pumps, a similar dependence of the specific energy consumption indicator on the supply value and inconsistency with the COP. As a result of a comparative assessment, it was found that the value of the operating range of the feed and the angle settings of the blades do not affect the applicability of the dependence of reducing the specific energy consumption for pumping liquid when operating closer to the maximum (right) boundary of the working area. The methodology for selecting axial flow pumps in terms of specific energy consumption can be reasonably applied as a criterion/recommendation for designing water supply systems instead of the traditional one based on the zone of the highest efficiency value.

Key words: axial pumps; selection of pumps; operating point; energy efficiency; coefficient of efficiency; low-pressure pumps.

For citation: Lagutochkin A.A. Comparative assessment of energy efficiency indicators of axial pumps. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023. V.9. No. 2. pp. 115–126.

Введение

Осевые насосы (ОН) относятся к динамическому типу насосов и являются важным компонентом многих технических систем, где требуется перекачивание больших объемов жидкости на небольшие высоты. Эффективность работы насосов является важным условием, влияющим на себестоимость перекачивания жидкости в различных отраслях промышленности, сельского хозяйства, водоснабжения и водоотведения. Минимизация эксплуатационных расходов на сегодняшний день является актуальной проблемой, в [1] указывается проблема повышенного расхода электроэнергии ОН при работе в условиях низкого расхода в гидравлических системах и обозначается необходимость оптимизации конструкции осевых насосов и режима их эксплуатации.

В [2] установлено, что методика подбора осевых насосов по максимальным значениям КПД является менее объективной в отношении энергоэффективности по сравнению с использованием показателя удельных энергозатрат при проектировании установки замкнутого водоснабжения с применением приведенного в статье осевого насоса. Данный вывод противоречит методу расчета [3, с. 12], рекомендующему выбор рабочей точки в зоне наибольшего значения коэффициента полезного действия (КПД), а также содержанию исследований [4-8], в которых КПД является основным критерием оценки энергоэффективности. Из существующей несогласованности между практическим расчетом в конкретном случае и известной методикой возникает необходимость расчета и сравнения результатов с использованием экспериментальных данных осевых насосов с различной конструкцией, мощностью и настройкой.

Цель данной статьи – сравнить результаты расчета КПД, как основного критерия подбора осевых насосов, с данными по показателю удельных энергозатрат осевых насосов и определить оптимальный выбор для систем водоснабжения.

Исходные данные

В качестве исходных данных была использована выборка, составленная на основе характеристик различных осевых насосов в размере 18 единиц из предоставленных производителями коммерческих каталогов [9-11] доступных в открытом доступе. Перекачиваемой жидкостью во всех случаях является вода. Для упрощения сравнительного анализа данные условно разделены по величине диапазонов подачи на 4 группы согласно табл.1.

Таблица 1 – Параметры исследуемых насосов

Модель ОН	Угол лопастей, °	Диапазон подачи, м ³ /с
1 группа		0 – 0,5
KPR 340	4	0,13 – 0,26
P3152	15	0,29 – 0,5
KPL 600/650.6	15	0,3 – 0,5
KPL 500	9	0,13 – 0,2
2 группа		0,5 – 1,5
KPL 700.6	17	0,7 – 0,98
KPL 700.8	23	0,52 – 0,95

KPL 800.8	23	0,95 – 1,48
KPL 800/900.6	15	1,12 – 1,47
3 группа		1,5 – 3,5
KPL 1000.10	17	1,54 – 2,29
KPL 1200.10	11	2,1 – 3,0
KPL 1200.12	17	2,35 – 3,48
KPL 1400.12	9	2,0 – 3,23
KPL 1400.14	13	2,05 – 3,2
4 группа		3,5 – 9,5
KPL 1500.12	15	3,57 – 5,42
KPL 1600.14	19	4,03 – 6,53
KPL 1600.16	23	4,2 – 6,89
KPL 1800.16	13	3,7 – 6,92
KPL 1800.16	21	5,75 – 9,25

Метод расчета

Для расчета необходимых показателей используем метод приведенный в [2]:

Аппроксимацию характеристик произведем с помощью автоматизированного расчета в среде Mathcad, используя метод наименьших квадратов посредством формирования многочленов аппроксимации (сглаживающих функций). Используем формулы:

$$H = H_0 + \alpha_1 Q + \alpha_2 Q^2, \quad (1)$$

где H_0 – напор насоса при нулевой подаче; Q – подача насоса; α_1, α_2 – эмпирические коэффициенты.

$$N = N_0 + b_1 Q + b_2 Q^2, \quad (2)$$

где N_0 – мощность на валу при нулевой подаче; b_1, b_2 – эмпирические коэффициенты.

Рассчитаем КПД по отношению полезной мощности к мощности электродвигателя насоса:

$$\eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{N}, \quad (3)$$

Для расчета КПД определим следующие параметры:

Полезная мощность:

$$N_{\text{полезн}} = \rho g H Q, \quad (4)$$

где ρ – плотность жидкости; g – ускорение свободного падения.

Показатель удельных энергозатрат:

$$E = \frac{N}{Q}. \quad (5)$$

Графическое представление результатов

В результате произведенного расчета построены графики зависимости показателей энергоэффективности от величины подачи.

1 группа ОН (рис.1-4) с величиной подачи в диапазоне от 0 до 0,5 м³/с:



Рисунок 1 – Показатели энергоэффективности ОН KPR 340

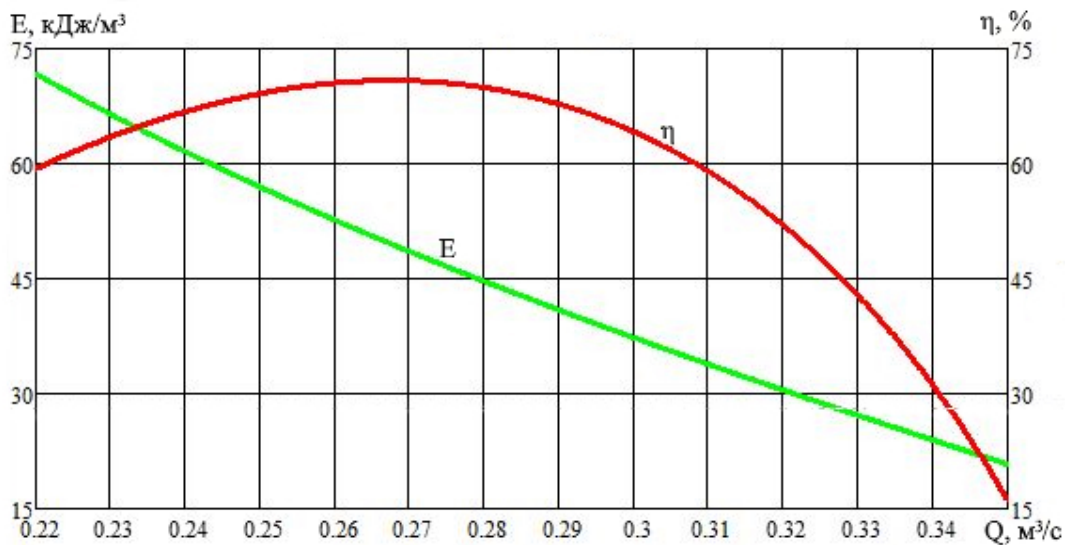


Рисунок 2 – Показатели энергоэффективности ОН P3152

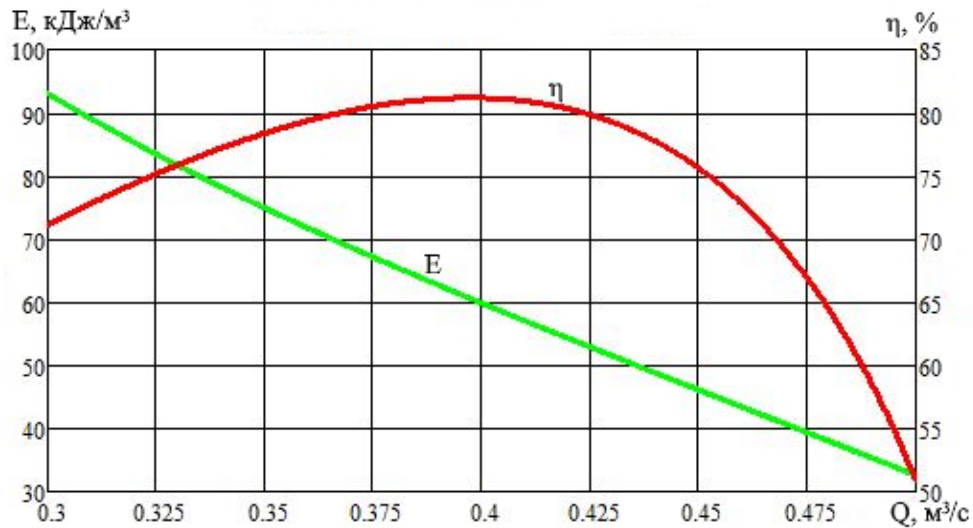


Рисунок 3 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 600/650.6

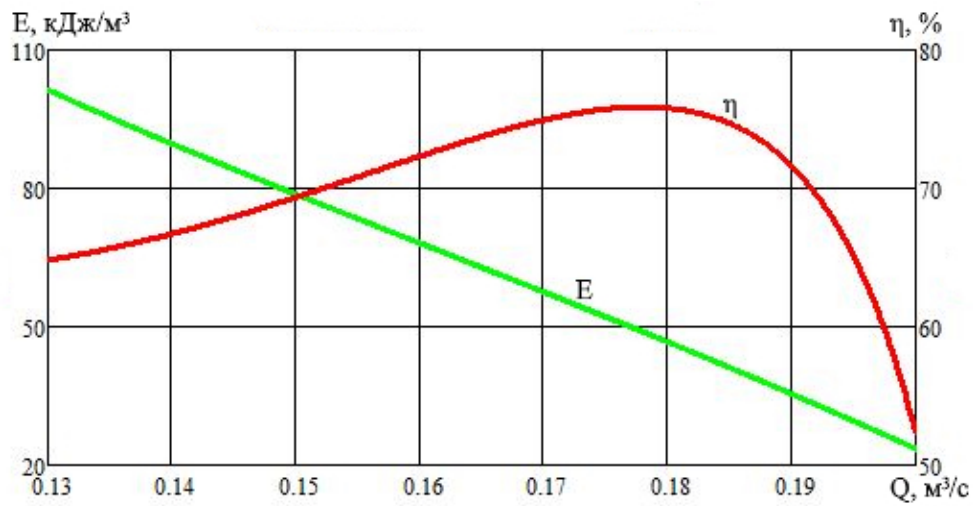


Рисунок 4 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 500

2 группа ОН (рис.5-8) с величиной подачи в диапазоне от 0,5 до 1,5 м³/с:

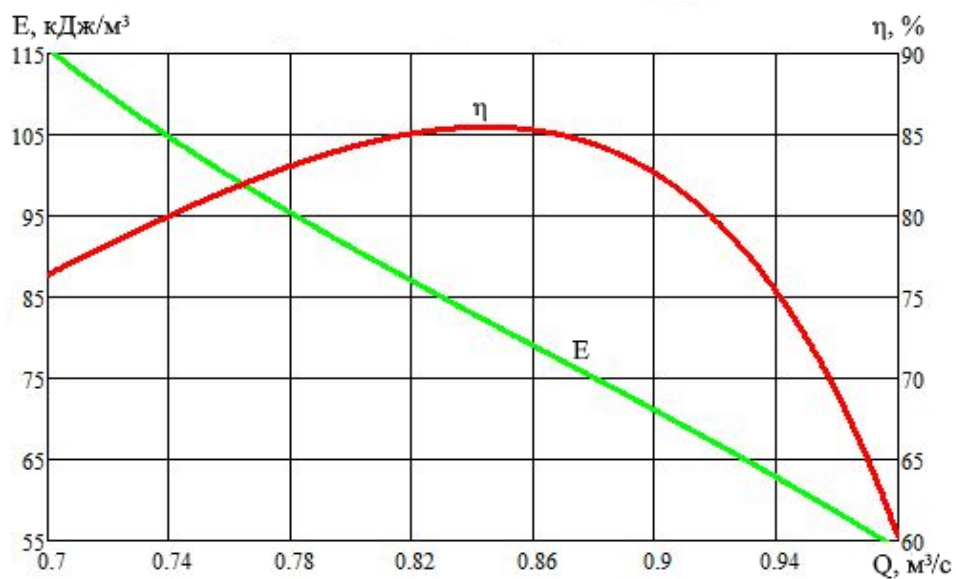


Рисунок 5 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 700.6

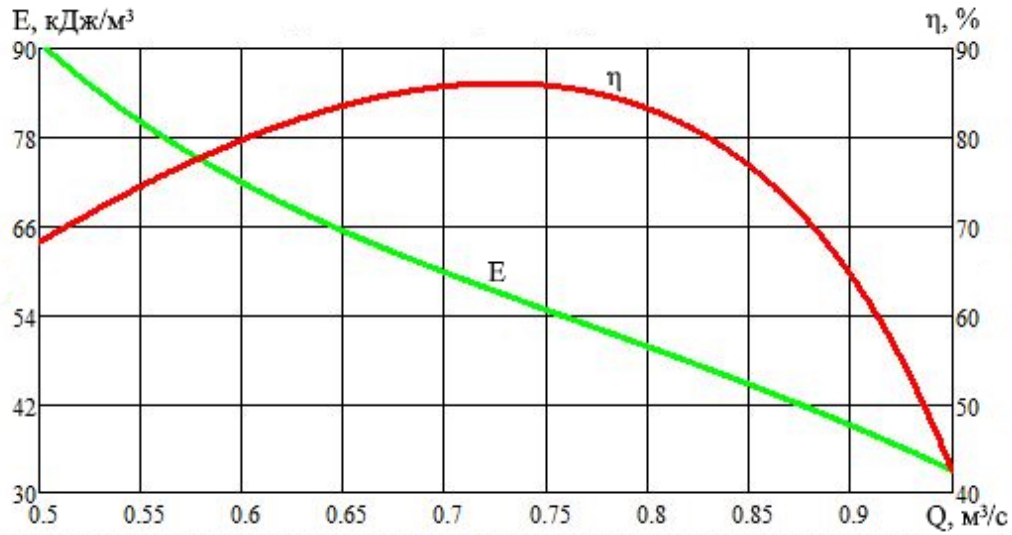


Рисунок 6 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 700.8

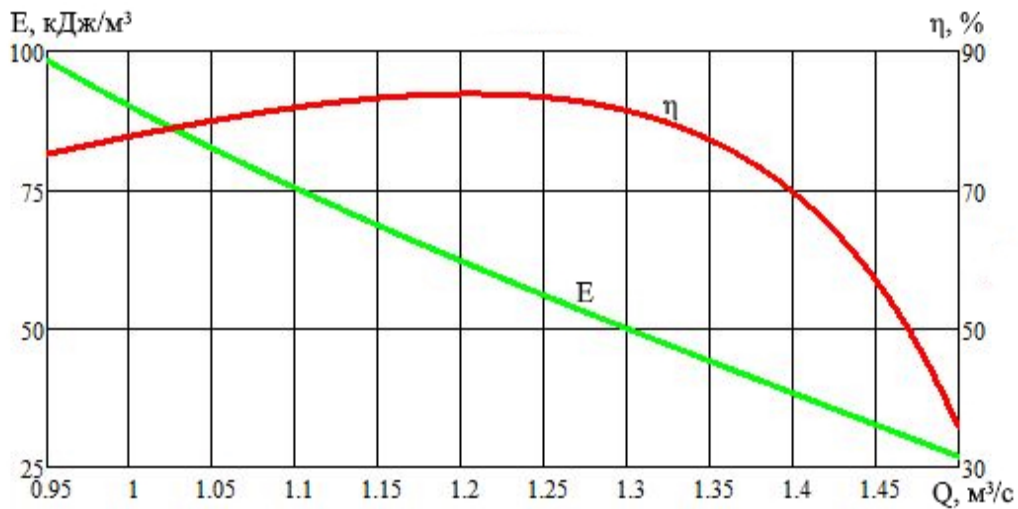


Рисунок 7 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 800.8

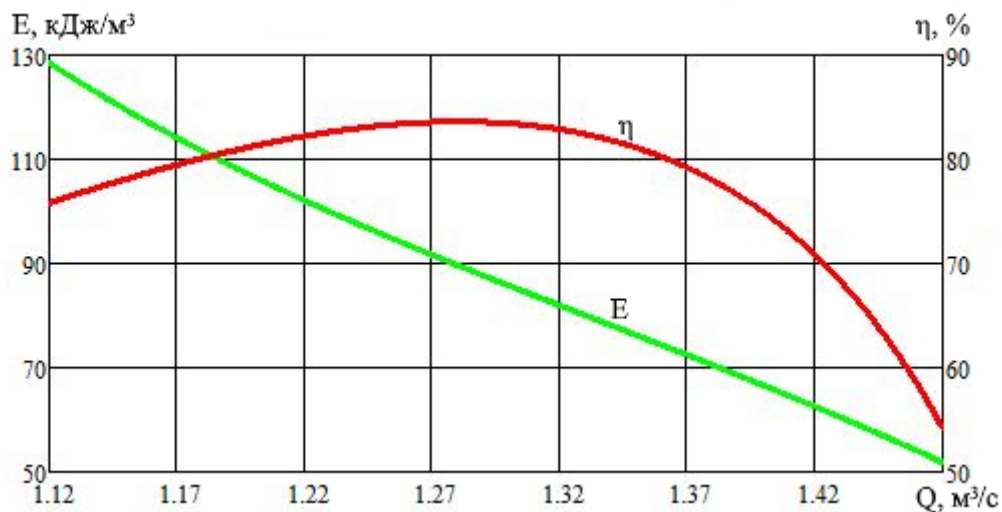


Рисунок 8 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 800/900.6

3 группа ОН (рис.9, рис.10, рис.11, рис.12, рис.13) с величиной подачи в диапазоне от 1,5 до 3,5 м³/с:



Рисунок 9 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1000.10



Рисунок 10 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1200.10

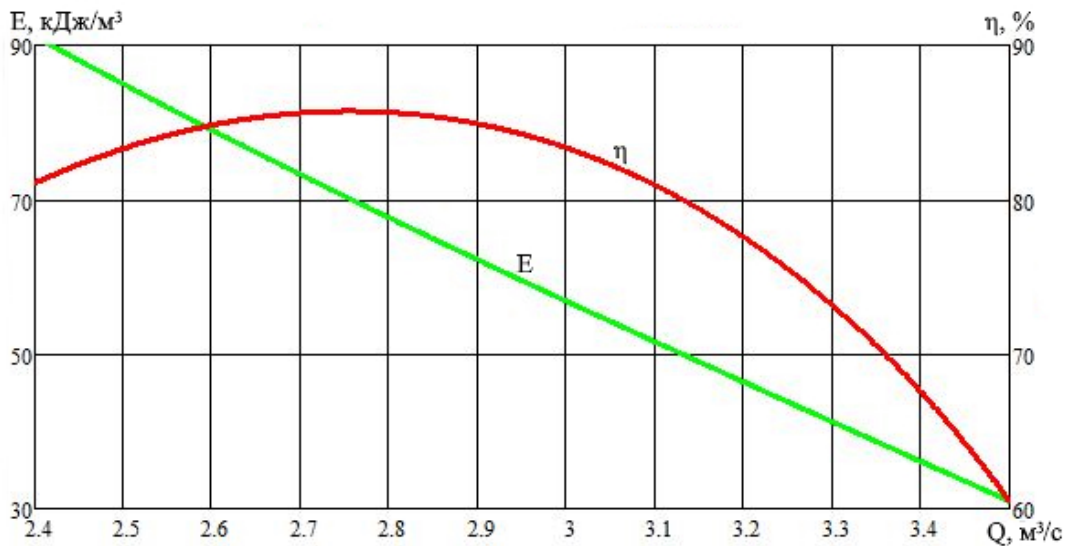


Рисунок 11 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1200.12



Рисунок 12 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1400.12



Рисунок 13 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1400.14

4 группа ОН (рис.14-18) с величиной подачи в диапазоне от 3,5 до 9,5 м³/с:

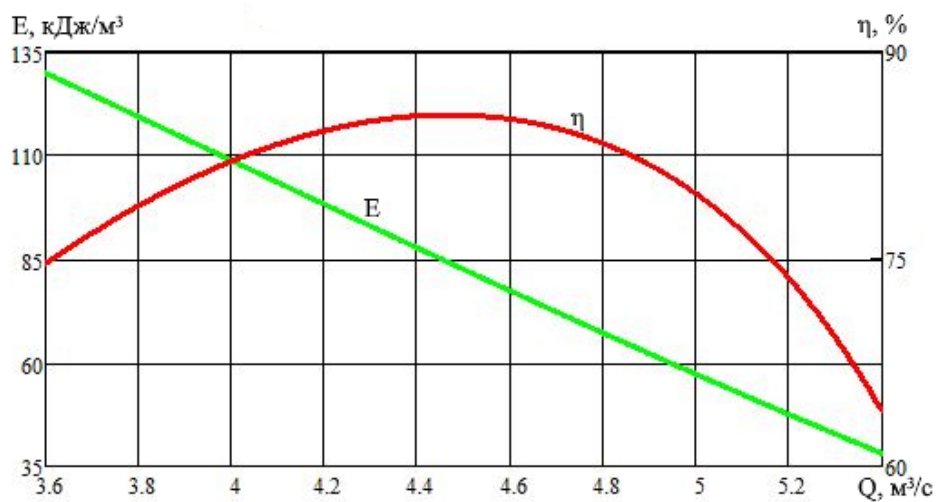


Рисунок 14 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1500.12



Рисунок 15 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1600.14



Рисунок 16 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1600.16

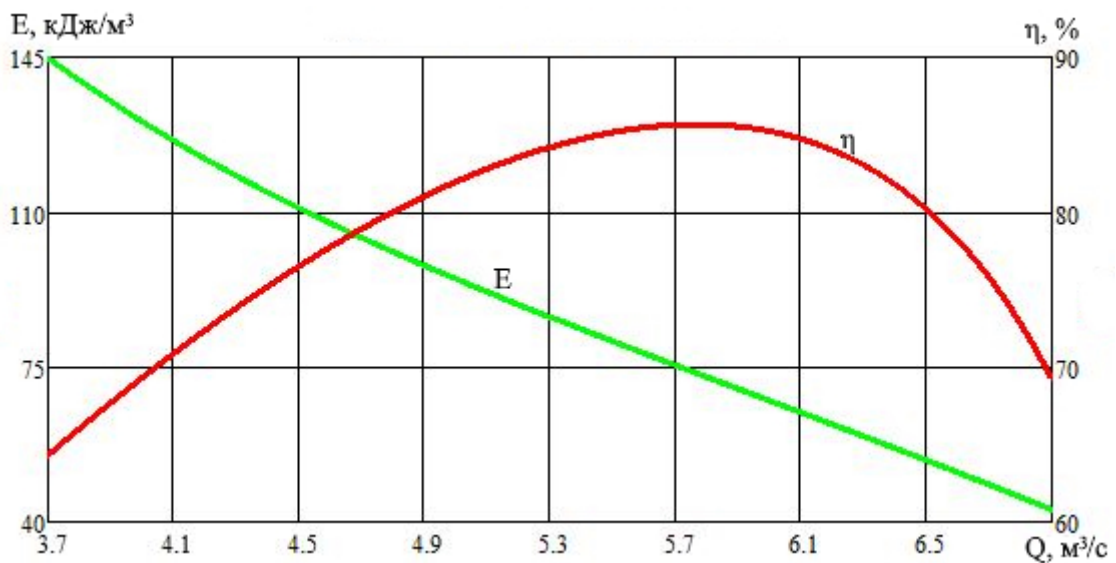


Рисунок 17 – Показатели энергоэффективности ОН KPL 1800.16 (13°)

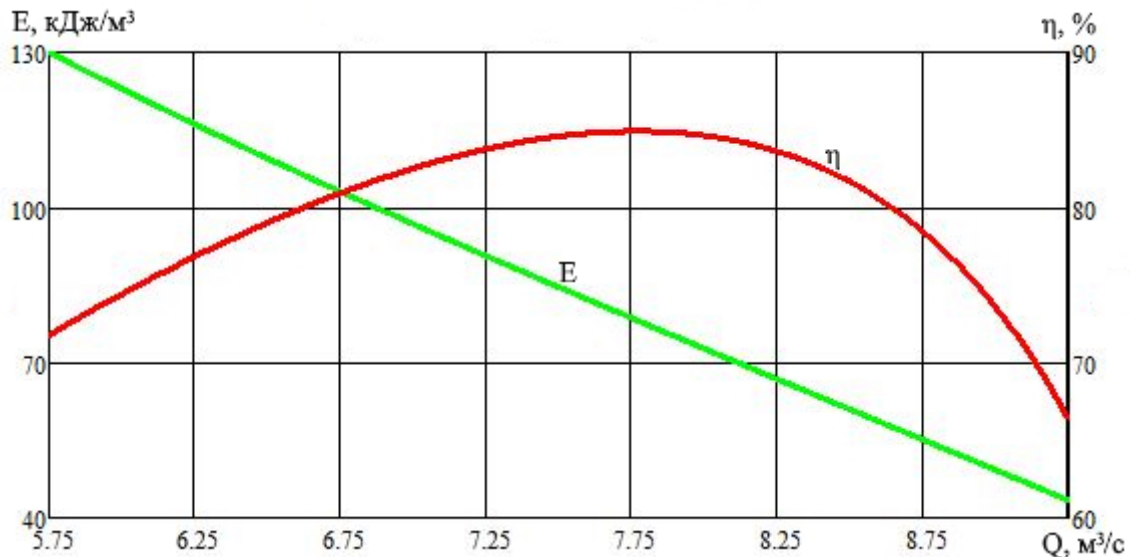


Рисунок 18 – Показатели энергоэффективности ОН КРЛ 1800.16 (21°)

Обсуждение результатов

Результаты показывают, что удельные энергозатраты на перекачивание жидкости снижаются при эксплуатации насосов ближе к правой границе рабочей области, где гидравлический КПД насоса является относительно низким. Это явление можно объяснить оптимальным сочетанием скорости потока и напора в данной зоне, что приводит к улучшению эффективности. Также стоит отметить, что снижение удельных энергозатрат при увеличении подачи прослеживается для всех ОН исходной выборки, что указывает на применимость методики подбора насосов с использованием показателя удельных энергозатрат в процессе проектирования систем водоснабжения. Анализ проводился только на основе расчета энергоэффективности, не учитывая другие факторы, такие как стоимость, кавитационный режим, надежность и прочие параметры насосов.

Заключение

В результате проведенного расчета показателей энергоэффективности работы осевых насосов установлено: несмотря на снижение КПД насоса удельные затраты энергии на перекачивание жидкости снижаются при эксплуатации агрегатов ближе к максимальной (правой) границе рабочей области. Найденная зависимость справедлива для ОН с различными значениями рабочего диапазона подачи и угла лопастей.

По итогам сравнительной оценки можно сделать вывод: методика подбора осевых насосов по показателю удельных энергозатрат является более объективной по сравнению с использованием КПД в отношении энергоэффективности и может быть применима в качестве критерия/рекомендации для проектирования систем водоснабжения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Moifatswane M.P., Madushele N., Ahmed N. Improving the Performance of an Axial Flow Pump: An Overview // *Advances in Science and Technology*. 2020. Vol. 107, pp. 15-25. doi: 10.4028/www.scientific.net/AST.107.15.
2. Лагуточкин А.А. Расчет показателей энергоэффективности работы осевого насоса для установок замкнутого водоснабжения // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2022. Т. 8. № 4. С. 51-57. [Электронный ресурс]. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2022/12/2022-N4-Lagutochkin.pdf>.

3. Локалов Г.А., Марковский В.М. Осевые и центробежные насосы тепловых электрических станций: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. 140 с.
4. Свобода Д.Г., Жарковский А.А., Иванов Е.А., Щуцкий С.Ю., Дягилев П.Ю. Создание осевых насосов с высоким КПД и незападающей формой характеристики // Вестник машиностроения. 2019. № 4. С. 37-41.
5. Свобода Д.Г., Иванов Е.А., Жарковский А.А., Щуцкий С.Ю. Оптимизация проточной части осевого насоса с использованием поверхности отклика // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2022. № 8. С. 74-83.
6. Shen S., Qian Z., Ji B., Agarwal R.K. Numerical investigation of tip flow dynamics and main flow characteristics with varying tip clearance widths for an axial-flow pump // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, 2018.. Vol. 233, pp. 1-13. doi: 10.1177/0957650918812541.
7. Kim Y.S., Heo M.W., Shim H.S., Kim K.Y. Hydrodynamic Optimization for Design of a Submersible Axial-Flow Pump with a Swept Impeller // Energies. 2020. No. 13(12), 3053, pp. 1-22. doi: 10.3390/en13123053.
8. Yang F., Hu W., Li C., Liu C., Jin Y. Computational study on the performance improvement of axial-flow pump by inlet guide vanes at part loads // Journal of Mechanical Science and Technology. 2020. No. 34(12), pp. 4905-4915. doi: 10.3390/en13123053.
9. Wilo Mediamid [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://wilo.cdn.mediamid.com/cdndoc/wilo153100/902811/wilo153100.pdf> (дата обращения 05.04.2023).
10. Motralec. Flygt submersible pumps and mixers [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.motralec.com/public/fichiers/docs/Flygt-F-PUMPS-English.pdf> (дата обращения 05.04.2023).
11. Библиотека СОК. Grundfos KPL и KWM [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/grundfos/23491/98177.pdf> (дата обращения 05.04.2023).

REFERENCES

1. Moifatswane M.P., Madushela N., Ahmed N. Improving the Performance of an Axial Flow Pump: An Overview. Advances in Science and Technology, 2020. Vol. 107, pp. 15-25. doi: 10.4028/www.scientific.net/AST.107.15.
2. Lagutochkin A.A. *Raschet pokazatelej energoeffektivnosti raboty oseвого nasosa dlya ustanovok zamknutogo vodosnabzheniya* [Calculation of energy efficiency indicators of axial pump operation for closed water supply installations]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2022. Vol. 8. No.4, pp. 511-57. Available at: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2022/12/2022-N4-Lagutochkin.pdf>.
3. Lokalov G.A., Markovskij V.M. *Osevyje i centrobezchnye nasosy teplovyh elektricheskikh stancij* [Axial and centrifugal pumps of thermal power plants]. Ekaterinburg: Ural, 2016. 140 p.
4. Svoboda D.G., Zharkovskij A.A., Ivanov E.A., Shchuckij S.Yu., Dyagilev P.Yu. *Sozdanie osevyh nasosov s vysokim KPD i nezapadayushchej formoj harakteristiki* [Creation of axial pumps with high efficiency and non-falling shape characteristics]. *Vestnik mashinostroeniya*. 2019. No.4, pp. 37-41.
5. Svoboda D.G., Ivanov E.A., Zharkovskij A.A., Shchuckij S.Yu. *Optimizaciya protochnoj chasti oseвого nasosa s ispol'zovaniem poverhnosti otklika* [Optimization of the flow part of the axial pump using the response surface]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie*. 2022. No.8, pp. 74-83.
6. Shen S., Qian Z., Ji B., Agarwal R.K. Numerical investigation of tip flow dynamics and main flow characteristics with varying tip clearance widths for an axial-flow pump. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy. 2018. Vol. 233, pp. 1-13. doi: 10.1177/0957650918812541.

7. Kim Y.S., Heo M.W., Shim H.S., Kim K.Y. Hydrodynamic Optimization for Design of a Submersible Axial-Flow Pump with a Swept Impeller. *Energies*, 2020. No. 13(12), 3053, pp. 1-22. doi: 10.3390/en13123053.

8. Yang F., Hu W., Li C., Liu C., Jin Y. Computational study on the performance improvement of axial-flow pump by inlet guide vanes at part loads. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2020. No. 34(12), pp. 4905-4915. doi: 10.3390/en13123053.

9. Wilo Mediamid. Available at: <http://wilo.cdn.mediamid.com/cdndoc/wilo153100/902811/wilo153100.pdf> (date accessed: 05.04.2023).

10. Motraltec. Flygt submersible pumps and mixers. Available at: <https://www.motraltec.com/public/fichiers/docs/Flygt-F-PUMPS-English.pdf> (date accessed: 05.04.2023).

11. *Biblioteka SOC. Grundfos KPL i KWM* [Library SOC. Grundfos KPL and KWM]. Available at: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/grundfos/23491/98177.pdf> (date accessed: 05.04.2023).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Лагуточкин Андрей Андреевич – студент, Калининградский государственный технический университет (236000, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: a.lagutochkin@internet.ru)

Lagutochkin Andrei Andreevich – Student, Kaliningrad State Technical University (236000, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: a.lagutochkin@internet.ru)

Статья поступила в редакцию 04.06.2023; одобрена после рецензирования 15.06.2023, принята к публикации 18.06.2023.

The article was submitted 04.06.2023; approved after reviewing 15.06.2023; accepted for publication 18.06.2023.