

Научная статья

УДК 621.65:637.1.02

DOI 10.46845/1997-3071-2022-66-78-88

Критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами

Наталья Равиловна Ахмедова¹, Оксана Игоревна Левичева², Владимир Аркадьевич Наумов³

^{1,3} Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

² ООО "Балтфармацевтика", Багратионовск, Россия

¹isfendi@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3483-3580>

²levicheva@bk.ru

³van-old@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>

Аннотация. На предприятиях пищевой промышленности для перекачки рабочих сред применяют насосы различных типов. Вихревые насосы (ВН) могут работать с широким ассортиментом продуктов, которые не содержат твердые примеси и могут создавать большой напор при сравнительно невысокой подаче. Рекомендуется использовать ВН с большими значениями торцевого зазора между рабочим колесом и корпусом, имеющими линейную напорную характеристику. Уменьшение зазора может привести к засорению агрегата и усложнению его промывки в межоперационный период. Производители ВН в открытом доступе размещают характеристики насосов в размерной форме и, как правило, только зависимость напора от подачи. Расчеты, выполненные на основании результатов испытаний АО ГМС "Ливгидромаш", позволили определить критерии подобия для рассматриваемых насосных установок и исследовать их влияние на рабочие характеристики. Установлено, что для всех анализируемых ВН линейные нагрузочные характеристики (зависимость подача–напор) являются подобными; для характеристик подача–затраченная мощность установлен один критерий подобия (θ), для коэффициента полезного действия (КПД) – два критерия (θ , K). Критериями подобия при определении подачи и напора в рабочей точке являются две безразмерные величины (a , h_c), с увеличением которых безразмерная подача падает, а напор возрастает. Для безразмерной мощности в рабочей точке установлены три критерия подобия (a , h_c , θ), для КПД – четыре (a , h_c , θ , K). Увеличение критериев a , h_c , θ приводит к росту безразмерной затраченной мощности в рабочей точке и уменьшению КПД. Рост КПД происходит только при увеличении значения K .

Ключевые слова: вихревые насосы, нагрузочные характеристики, подача, напор, мощность, КПД, рабочая точка, критерии подобия

Для цитирования: Ахмедова Н. Р., Левичева О. И., Наумов В. А. Критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами // Известия КГТУ. 2022. № 66. С. 78–88.

Original article

Similarity criteria of units for pumping low-viscosity food liquids by peripheral pumps

Natal'ya R. Akhmedova¹, Oksana I. Levicheva², Vladimir A. Naumov³

^{1,3} Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

² Baltfarmatsevtika LLC, Bagrationovsk, Russia

Abstract. Various types of pumps are used at food industry enterprises for pumping processing media. Perifirium pumps (PP) can work with a wide range of products that do not contain solid impurities and can create a large pressure at a relatively low flow rate. It is recommended to use PP with large values of the end gap between the impeller and the housing, having a linear pressure characteristic. Reducing the gap can lead to clogging of the unit and complicating its flushing between operations. Manufacturers of PP in the open access place the characteristics of pumps in dimensional form and, as a rule, only the dependence of the pressure on the flow rate. Calculations performed on the basis of the test results of JSC HMS "Livgidromash" have made it possible to determine the similarity criteria for the pumping units under consideration and to investigate their impact on performance characteristics. It has been established that for all the considered PP, the linear load characteristics (flow-head dependence) are similar; for the flow-power characteristics, one similarity criterion (θ) has been defined, when determining the efficiency (efficiency), two criteria (θ , K) have been defined. The similarity criteria for determining the flow and pressure at the working point are two dimensionless quantities (a , h_C), with an increase in which the dimensionless flow decreases and the pressure increases. When determining the dimensionless power at the working point, three similarity criteria have been established (a , h_C , θ), when determining the efficiency- four (a , h_C , θ , K). An increase in the criteria a , h_C , θ leads to an increase in the dimensionless power expended at the working point and a decrease in efficiency. The increase in efficiency occurs only with an increase in the K value.

Keywords: peripheral pumps, load characteristics, liquid consumption, head, power, efficiency, operating point, similarity criteria

For citation: Akhmedova N. R., Levicheva O. I., Naumov V. A. Similarity criteria of units for pumping low-viscosity food liquids by peripheral pumps. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2022;(66):78–88.(in Russ.).

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование технологических трубопроводов – наиболее сложный этап при создании или модернизации предприятий пищевой промышленности. Гидравлический расчет трубопроводной системы, используемой для транспортирования пищевых сред, является многовариантной задачей (см. [1–3] и библиографию в них).

При выполнении гидравлических расчетов авторы редко учитывают нагрузочные характеристики насосов. Например, в [3] предложена методика оптимизации технологических трубопроводов по технико-экономическим показателям, основанная на результатах вычислительных экспериментов. В данной работе совершенно справедливо установлено, что при увеличении диаметра трубопровода

возрастают капитальные затраты и снижаются эксплуатационные, при выполнении расчетов не учитывалось, что значение КПД насоса меняется из-за уменьшения напора.

Необходимой частью в технологических процессах пищевых производств являются насосы. Известно, что при одинаковых габаритах и частоте вращения рабочего колеса (РК) напор ВН в несколько раз больше, чем у центробежных насосов [4, 5]. Это позволяет проектировать и использовать ВН значительно меньших размеров по сравнению с центробежными. Достоинством ВН является также и то, что они обладают самовсасывающей способностью, а недостатками – невысокий КПД и быстрый износ деталей при работе с жидкостями, содержащими твердые частицы.

В пищевой промышленности ВН могут работать с широким ассортиментом продуктов, не содержащих твердые примеси, например, в виноделии и производстве масел, а также в перекачивании молочных продуктов. Все части ВН, вступающие в контакт с пищевыми продуктами, изготавливают из специальных материалов, например, ВН компании Inoxmim FL-AL – из нержавеющей стали AISI 316 [6].

В англоязычных источниках ВН называют периферийным (peripheral pumps), так как РК ВН представляет собой плоский диск с короткими радиальными лопатками, расположенными на периферии РК (изображен в правом верхнем углу рис. 1). В корпусе имеется кольцевая полость, в которую входят лопатки РК. Внутренний уплотняющий выступ, плотно примыкая к наружным торцам и боковым поверхностям лопаток, разделяет всасывающий и напорный патрубки. В [7] было установлено, что уменьшение торцевого зазора δ между РК и корпусом приводит к увеличению напора H . Причем при больших δ характеристика подача–напор ($Q-H$) имеет вид прямой, а при малых δ – становится нелинейной.

Использование для транспортировки жидких пищевых продуктов ВН с уменьшенным торцевым зазором нецелесообразно. Это может привести к засорению агрегата и усложнению его промывки в межоперационный период. Следовательно, позволительно рекомендовать использовать в пищевой промышленности ВК с линейной характеристикой ($Q-H$). Такие характеристики ВК компании Pedrollo SPA [8] показаны на рис. 1.

В настоящее время имеется большое количество фирм-производителей, как российских, так и зарубежных [6, 8–11], производящих ВН с большим напором и сравнительно невысокой подачей. В табл. 1 приведены технические параметры ВН, выпускаемых компанией [10]. Все испытания проводились на чистой воде при 20 °С.

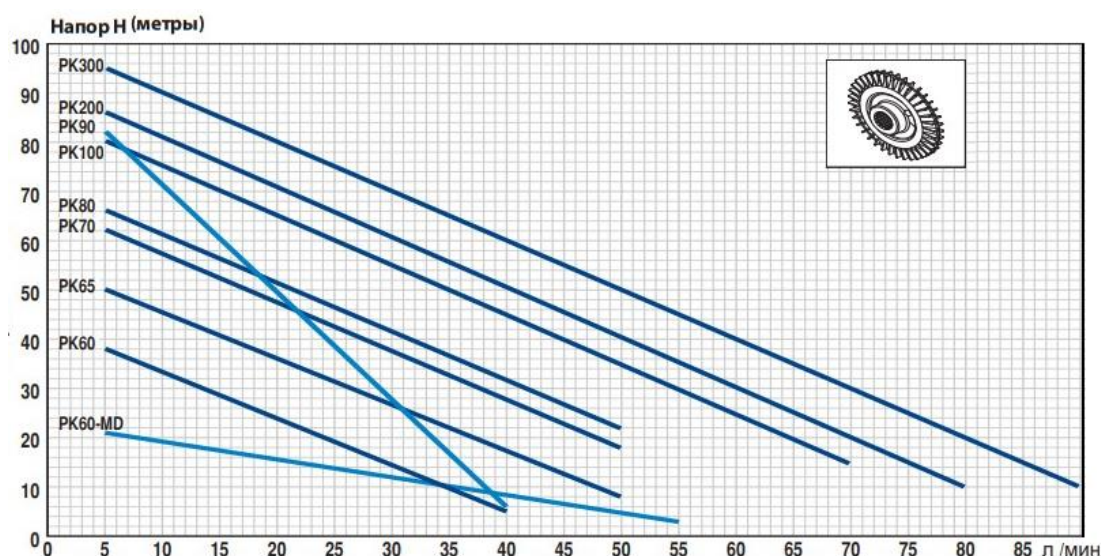


Рис. 1. Напорные характеристики вихревых насосов компании Pedrollo SPA [8]
Fig. 1. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps head characteristics [8]

Таблица 1. Технические параметры вихревых насосов компании Leo [10]
Table 1. Technical parameters of Leo Company peripheral pumps [10]

Параметры	Марка насоса					
	APm30	APm37	APm60	APm75	APm110	APm150
N_E , кВт	0,30	0,37	0,60	0,75	1,0	1,5
H_0 , м	30	40	60	75	85	90
Q_m , м ³ /час	2,1	2,4	3,0	3,0	4,2	4,8

Примечание: Q_m , H_0 – наибольшие значения подачи и напора, соответственно; N_E – мощность электродвигателя.

Результаты большинства исследований характеристик ВН опубликованы лишь в размерной форме ([7, 12, 13] и библи. в них). Одну из немногих попыток использовать безразмерную форму в [14] вряд ли можно считать удачной, так как рабочая точка насосной установки не была рассмотрена, критерии подобия – не найдены. Цель статьи – определить критерии подобия установок для перекачивания маловязких пищевых жидкостей вихревыми насосами и исследовать их влияние на рабочие характеристики.

1. БЕЗРАЗМЕРНЫЕ НАГРУЗОЧНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Большинство компаний приводит в технической документации только напорные характеристики ВН, как на рис. 1. Здесь воспользуемся результатами испытаний АО ГМС "Ливгидромаш" [9], которые включают не только напорную характеристику, но и затраченную мощность и КПД (точки на рис. 2 и 3). В отличие от центробежных насосов, затраченная мощность ВН снижается с ростом подачи (рис. 3b).

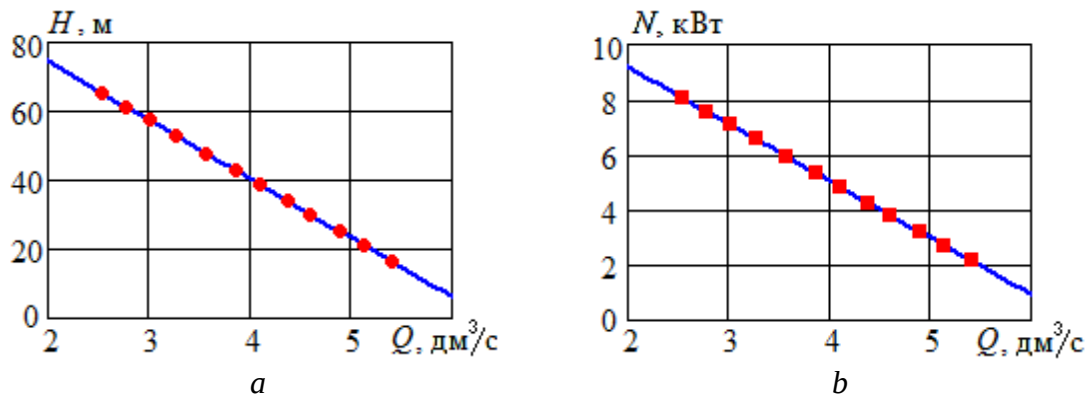


Рис. 2. Нагрузочные характеристики насоса ВК-5/24: *a* – напор; *b* – мощность. Точки – экспериментальные данные [9], линии – расчет по формулам (1.1)
Fig. 2. Load characteristics of the BK-5/24 pump: *a* – head; *b* – power. Points are experimental data [9], lines are calculation according to formulas (1.1)

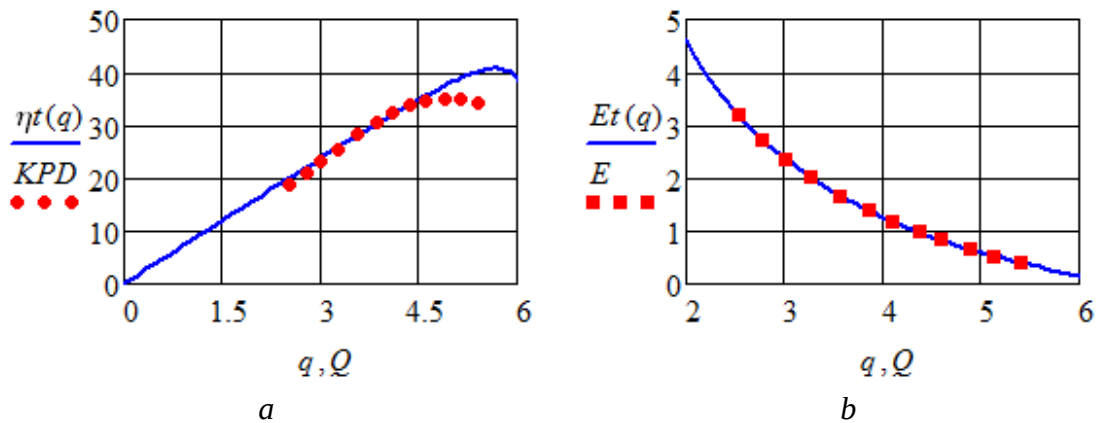


Рис. 3. Показатели энергетической эффективности насоса ВК-5/24: *a* – напор; *b* – мощность. Точки – экспериментальные данные [9], линии – расчет по формулам (1.4), (1.5)
Fig. 3. Indicators of the energy efficiency of the BK-5/24 pump: *a* – head; *b* – power. Points are experimental data [9], lines are calculation according to formulas (1.4), (1.5)

Уравнения рабочих характеристик ВН, применяемых в пищевой промышленности, как правило, могут быть аппроксимированы прямыми линиями:

$$H \equiv f_1(Q) = H_0 - \alpha Q, N \equiv f_2(Q) = N_0 - \beta Q, \quad (1.1)$$

где константы H_0 , α , N_0 , β определяются по результатам испытаний. Например, у ВК-5/24 на рис. 2: $H_0 = 108,7$ м; $N_0 = 13,305$ кВт; $\alpha = 17,08$ м/(дм³/с); $\beta = 2,06$ кВт/(дм³/с).

Приведем характеристики к безразмерной форме:

$$h \equiv H/H_0 = 1 - q, n \equiv N/N_0 = 1 - q/\theta, \quad (1.2)$$

$$q = Q/Q_H, Q_N = N_0/\beta, Q_H = H_0/\alpha, \theta = Q_N/Q_H, \quad (1.3)$$

где Q_H , Q_N – подачи, при которых функции $f_1(Q)$ и $f_2(Q)$ обращаются в нуль, соответственно.

Тогда КПД ВН можно рассчитать по формуле:

$$\eta = \frac{\rho g Q H}{N} = \rho g \cdot \frac{Q \cdot f_1(Q)}{f_2(Q)} = \rho g \frac{Q (H_0 - \alpha Q)}{N_0 - \beta Q}. \quad (1.4)$$

Показатель удельных энергетических затрат ВН:

$$E = \frac{N}{Q} = \frac{f_2(Q)}{Q} = \frac{N_0 - \beta Q}{Q}. \quad (1.5)$$

Из (1.2)–(1.4) КПД ВН в безразмерной форме:

$$\eta \equiv \varphi(q) = K \frac{q(1-q)}{1-q/\theta}, \quad K = \frac{\rho g H_0^2}{\alpha N_0}. \quad (1.6)$$

По формулам (1.2), (1.6) видно, что линейные напорные характеристики (подача – напор) всех ВН являются подобными. Критерий подобия характеристик (подача – затраченная мощность) – величина θ (см. рис. 4а). При определении КПД ВН имеется два критерия подобия: θ и K . (рис. 4б).

Найдем производную функции (1.6) и приравняем ее к нулю:

$$\varphi'(q) = K \cdot \frac{(1-2q)(1-q/\theta) + (q-q^2)/\theta}{(1-q/\theta)^2}, \quad (1.7)$$

$$q^2 - 2\theta q + \theta = 0. \quad (1.8)$$

Корни квадратного уравнения (1.8):

$$q_{1,2} = \theta \cdot (1 \pm \sqrt{1 - 1/\theta}). \quad (1.9)$$

Выражение (1.9) имеет смысл, когда под корнем неотрицательная величина. Тогда условие существования максимума КПД: $\theta > 1$ или $Q_H < Q_N$. Очевидно, что максимальный КПД может быть только при подаче $Q_M < Q_N$. Поэтому в формуле (1.9) физический смысл имеет только меньший корень:

$$q_M = \theta \cdot (1 - \sqrt{1 - 1/\theta}). \quad (1.10)$$

Выразим из Q_H (1.10):

$$Q_H = Q_M (2 - Q_M / Q_N).$$

(1.11)

Учитывая $Q_M < Q_N$, из (1.11) следует $Q_M < Q_H$.

Таким образом, при наличии максимума КПД:

$$Q_M < Q_H < Q_N. \quad (1.12)$$

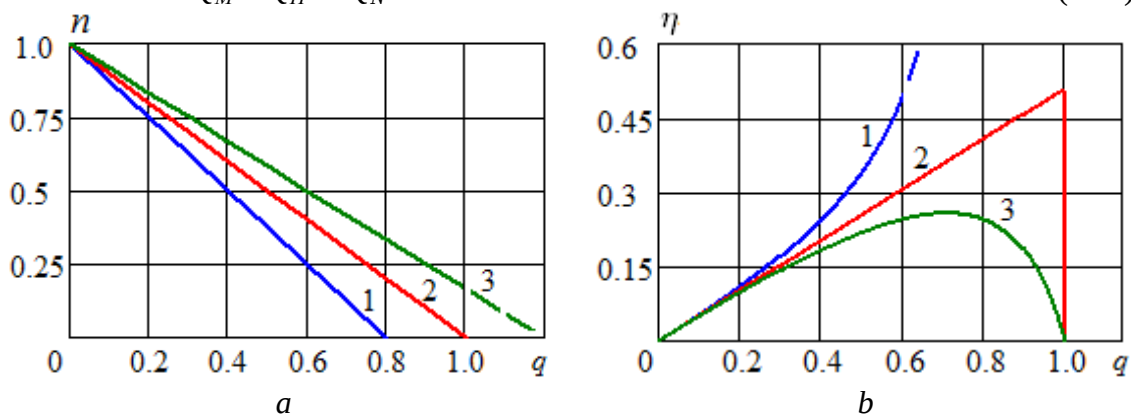


Рис. 4. Безразмерные характеристики вихревых насосов при разных значениях θ :
1 – $\theta = 0.8$; 2 – $\theta = 1$; 3 – $\theta = 1.2$; а – мощность; б – КПД при $K = 0.51$

Fig. 4. Dimensionless characteristics of vortex pumps at different values θ :
1 – $\theta = 0.8$; 2 – $\theta = 1$; 3 – $\theta = 1.2$; а – power; б – efficiency at $K = 0.51$

Во всей доступной технической документации по ВН выполняется условие $\theta > 1$. Следовательно, вид безразмерных характеристик будет такой, как линии 3 на

рис. 4. Чем ближе θ к единице, тем больше зависимость $\eta = \varphi(q)$ будет похожа на линию 2 на рис. 4b. Иллюстрацией может служить рис. 3a, где $\theta=1,015$.

2. РАБОЧАЯ ТОЧКА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

Далее рассматриваем гидравлическую систему в квадратичной области сопротивления. Тогда характеристика трубопровода может быть представлена так:

$$H_T = H_C + b \cdot Q^2, \quad (2.1)$$

где H_C – статический напор, b – размерный коэффициент сопротивления трубопровода.

Приравняв правые части (2.1) и первую из формул (1.1), получим уравнение для определения подачи в рабочей точке насосной установки:

$$H_0 - \alpha Q = H_C + b \cdot Q^2. \quad (2.2)$$

Разделим обе части уравнения (2.2) на H_0 и запишем его в безразмерной форме:

$$a \cdot q^2 + q - (1 - h_C) = 0, \quad a = H_0 b / \alpha^2, \quad h_C = H_C / H_0. \quad (2.3)$$

Положительный корень квадратного уравнения (2.3) представляет собой безразмерную подачу ВН в рабочей точке:

$$q_P = \sqrt{\left(\frac{1}{2a}\right)^2 - \frac{1 - h_C}{a}} - \frac{1}{2a}. \quad (2.4)$$

По формуле (2.4) критериями подобия при определении подачи (и напора) в рабочей точке являются безразмерные величины a и h_C . На рис. 5 представлены такие зависимости. Видно, что с увеличением как величины a , так и h_C безразмерная подача падает, а напор возрастает.

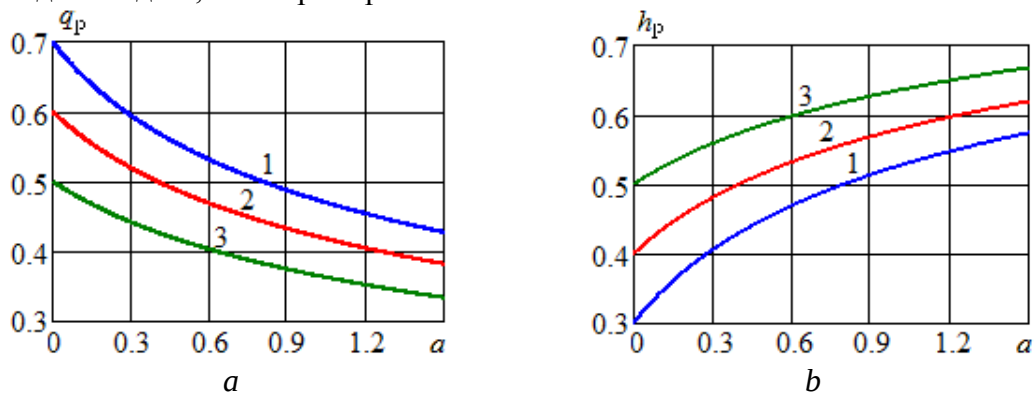


Рис. 5. Безразмерные параметры ВН в рабочей точке при разных значениях h_C :

1 – $h_C = 0,3$; 2 – $h_C = 0,4$; 3 – $h_C = 0,5$; a – подача; b – напор

Fig. 5. Dimensionless parameters of PP at the working point at different h_C values:

1 – $h_C = 0.3$; 2 – $h_C = 0.4$; 3 – $h_C = 0.5$; a – flow; b – head

С учетом второй формулы (1.2) и (1.6) при определении безразмерной мощности ВК в рабочей точке к критериям подобия a и h_C добавится θ , а при определении КПД – еще и K . По рис. 6 увеличение a , h_C и θ приводит к росту безразмерной затраченной мощности в рабочей точке. По рис. 7 увеличение значений указанных критериев подобия влечет уменьшение КПД. Только при увеличении значения K происходит возрастание КПД.

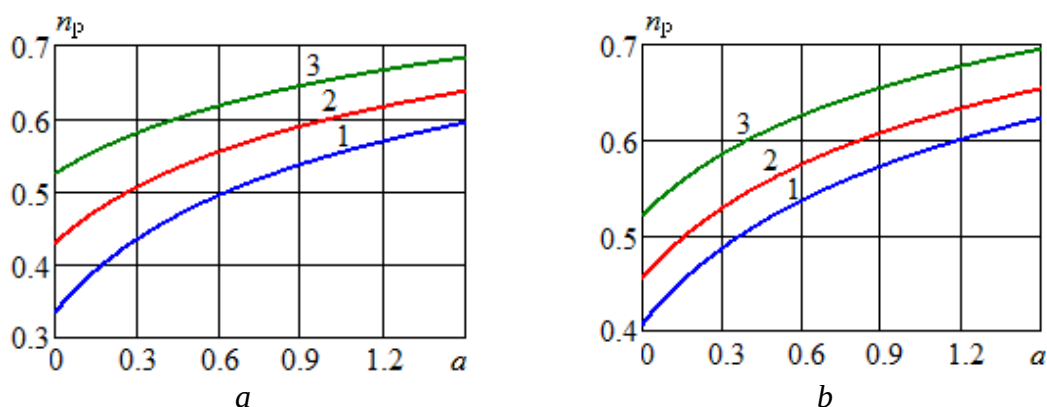


Рис. 6. Безразмерная затраченная мощность ВН в рабочей точке:
a – при $\theta=1,05$ и разных значениях h_C : 1 – $h_C = 0,3$; 2 – $h_C = 0,4$; 3 – $h_C = 0,5$;
b – при $h_C = 0,4$ и разных значениях θ : 1 – $\theta = 1,01$; 2 – $\theta = 1,1$; 3 – $\theta = 1,25$

Fig. 6. Dimensionless expended PP power at the operating point:

a – at $\theta = 1.05$ and different h_C values: 1 – $h_C = 0.3$; 2 – $h_C = 0.4$; 3 – $h_C = 0.5$;
b – for $h_C = 0.4$ and different values of θ : 1 – $\theta = 1.01$; 2 – $\theta = 1.1$; 3 – $\theta = 1.25$

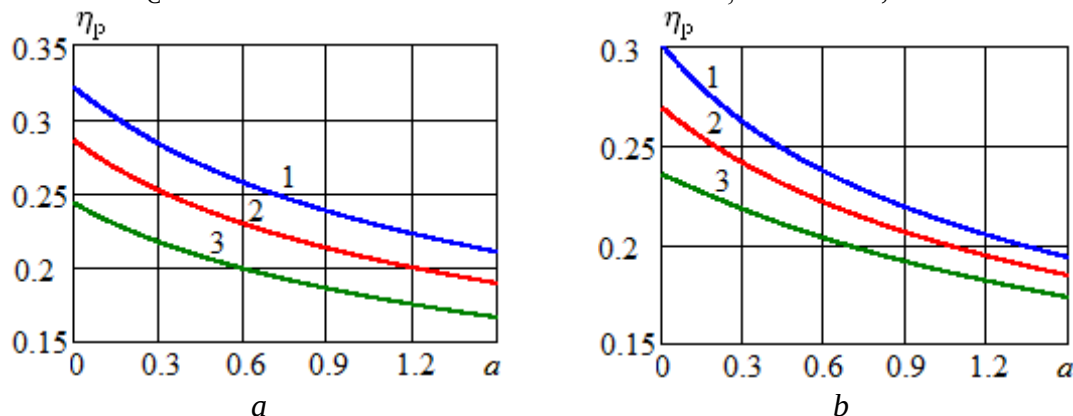


Рис. 7. Коэффициент полезного действия ВН в рабочей точке при $K = 0,51$:
a – при $\theta=1,05$ и разных значениях h_C : 1 – $h_C = 0,3$; 2 – $h_C = 0,4$; 3 – $h_C = 0,5$;
b – при $h_C = 0,4$ и разных значениях θ : 1 – $\theta = 1,01$; 2 – $\theta = 1,1$; 3 – $\theta = 1,25$

Fig. 7. The efficiency of PP at the operating point at $K = 0.51$:

a – at $\theta = 1.05$ and different values of h_C : 1 – $h_C = 0.3$; 2 – $h_C = 0.4$; 3 – $h_C = 0.5$;
b – for $h_C = 0.4$ and different values of θ : 1 – $\theta = 1.01$; 2 – $\theta = 1.1$; 3 – $\theta = 1.25$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Производители вихревых насосов, используемых в пищевом производстве для подачи жидких сред, размещают в открытом доступе техническую документацию, содержащую, как правило, только нагрузочные характеристики. Выполненные авторами вычислительные эксперименты позволили определить критерии подобия ВН и исследовать их влияние на рабочие характеристики. В данной работе все расчеты выполнялись на основе опубликованных в открытом доступе результатов испытаний АО ГМС "Ливгидромаш", которые включали напорную характеристику, затраченную мощность, КПД.

Список источников

1. Skoglund T., Dejmek P. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of microbial reduction in dispersed turbulent flow // *Journal of Food Engineering*. 2008. V. 86. P. 358–369.
2. Наумов В. А. Влияние плотности жидкости, перекачиваемой пищевым центробежным насосом, на рабочую точку // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2020. № 5. С. 524–530.
3. Оптимизация параметров технологического трубопровода по технико-экономическим показателям / А. А. Хвостов, М. Г. Магомедов, А. А. Журавлев [и др.] // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020. Т. 82. № 1. С. 34–46.
4. Спасский К. Н., Шаумян В. В. Новые насосы для малых подач и высоких напоров: монография. Москва: Машиностроение, 1972. 160 с.
5. Карелин В. Я., Минаев А. В. Насосы и насосные станции: учебник. Москва: Стройиздат, 1986. 320 с.
6. Inoxmim FL-AL liquid ring pumps. URL: <https://www.inoxmim.com/en/agitators-pumps/liquid-ring-pump> (дата обращения: 01.12.2021).
7. Разработка и исследование малорасходной герметичной установки с вихревым насосом / П. С. Левочкин, Е. Н. Ромасенко, В. И. Видишев, С. Б. Голубков // *Конверсия в машиностроении*. 2006. № 1. С. 28–32.
8. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps. URL: <https://www.pedrollo.com/en/products/surface-3/peripheral-37> (дата обращения: 05.01.2021).
9. АО ГМС "Ливгидромаш". Насосы вихревые типов ВК, ВКС, ВКО. Руководство по эксплуатации. URL: <https://www.hms-livgidromash.ru/documentation/rukovodstva/260/1188/> (дата обращения: 01.12.2021).
10. Leo Group. Peripheral Pumps APm. URL: <https://leopump.com/1-1-1-4-peripheral-pump.html> (дата обращения: 05.01.2021).
11. SAWA Pumpentechnik AG. Peripheral pumps. URL: <https://www.sawa.ch/en/products/peripheral-pump-p-mp> (дата обращения: 05.01.2021).
12. Расчет течения жидкости в каналах вихревого насоса / И. Л. Жданов, А. И. Хаустов, Э. Д. Сергиевский, Е. В. Овчинников // *Вестник МАИ*. 2003. Т. 10, № 2. С. 47–51.
13. Statistical model for characterizing and optimizing peripheral pumps / C. Camargo, C. García, J. Duarte, A. Rincón // *Ingeniería y Desarrollo*. 2018. V. 36, N 1. P. 18–39.
14. Meakhail T., Park S. An improved theory for regenerative pump performance // *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. Part A-journal of Power and Energy*. 2005. V. 219. P. 213–222.

References

1. Skoglund T., Dejmek P. A dynamic object-oriented model for efficient simulation of microbial reduction in dispersed turbulent flow. *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 86, pp. 358–369.

2. Naumov V. A. Vliyanie plotnosti zhidkosti, perekachivaemoy pishchevym tsentrobezhnym nasosom, na rabochuyu tochku [Influence of the density of the liquid pumped by a food centrifugal pump on the working point]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2020, no. 5, pp. 524–530.
3. Khvostov A. A., Magomedov M. G., Zhuravlev A. A. [et al.]. Optimizatsiya parametrov tekhnologicheskogo truboprovoda po tekhniko-ekonomicheskim pokazatelyam [Optimization of technological pipeline parameters according to technical and economic indicators]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy*, 2020, vol. 82, no. 1, pp. 34–46.
4. Spasskiy K. N., Shaumyan V. V. *Novye nasosy dlya malykh podach i vysokikh naporov* [New pumps for small flows and high pressures]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1972, 160 p.
5. Karelin V. Ya., Minaev A. V. *Nasosy i nasosnye stantsii: uchebnik* [Pumps and pumping stations: textbook]. Moscow, Stroyizdat, 1986, 320 p.
6. Inoxmim FL-AL liquid ring pumps. Available at: <https://www.inoxmim.com/en/agitators-pumps/liquid-ring-pump> (Accessed 01 December 2021).
7. Levochkin P. S., Romasenko E. N., Vidishev V. I., Golubkov S. B. Razrabotka i issledovanie maloraskhodnoy germetichnoy ustanovki s vikhrevym nasosom [Development and research of a low-flow sealed installation with a vortex pump]. *Konversiya v mashinostroenii*, 2006, no. 1, pp. 28–32.
8. Pedrollo SPA. Peripheral Pumps. Available at: <https://www.pedrollo.com/en/products/surface-3/peripheral-37> (Accessed 05 January 2021).
9. AO GMS "Livgidromash". *Nasosy vikhrevye tipov VK, VKS, VKO. Rukovodstvo po ekspluatatsii* [JSC HMS "Livgidromash". Vortex pumps of VK, VKS, VKO types. Operation Manual]. Available at: <https://www.hms-livgidromash.ru/documentation/rukovodstva/260/1188/> (Accessed 01 December 2021).
10. Leo Group. Peripheral Pumps APm. Available at: <https://leopump.com/1-1-1-4-peripheral-pump.html> (Accessed 05 January 2021).
11. SAWA Pumpentechnik AG. Peripheral pumps. Available at: <https://www.sawa.ch/en/products/peripheral-pump-p-mp> (Accessed 05 January 2021).
12. Zhdanov I. L., Haustov A. I., Sergievskiy E. D., Ovchinnikov E. V. Raschet techeniya zhidkosti v kanalakh vikhrevogo nasosa [Calculation of fluid flow in vortex pump channels]. *Vestnik MAI*, 2003, vol. 10, no. 2, pp. 47–51.
13. Camargo C., García C., Duarte J., Rincón A. Statistical model for characterizing and optimizing peripheral pumps. *Ingeniería y Desarrollo*. 2018, vol. 36, no. 1, pp. 18–39.
14. Meakhail T., Park S. An improved theory for regenerative pump performance. *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers. Part A-journal of Power and Energy*, 2005, vol. 219, pp. 213–222.

Информация об авторах

Н. Р. Ахмедова – кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства

О. И. Левичева – начальник участка водоснабжения и водоотведения

В. А. Наумов – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства

Information about the authors

N. R. Akhmedova – PhD in Biology, Associate Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

O. I. Levicheva – Head of the water supply and sanitation section

V. A. Naumov – Doctor of Engineering, Professor of Technosphere Safety and Environmental Engineering Department

Статья поступила в редакцию 19.01.2022; одобрена после рецензирования 30.01.2022; принята к публикации 15.07.2022

The article was submitted 19.01.2022; approved after reviewing 30.01.2022; accepted for publication 15.07.2022