Научная статья
УДК 621.66:637.358

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНИКО-СТОИМОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛОВРАТНЫХ НАСОСОВ

В.А. Наумов[1,*]

[1] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[*] E-mail: van-old@mail.ru

Аннотация. Проведен статистический анализ технико-стоимостных характеристик коловратных насосов (КН) производства компаний Беларусь и Китай. Он показал высокие коэффициенты парной корреляции (КПК) стоимости КН с мощностью его электродвигателя *N* и рабочим объемом *V*. При этом тесная стохастическая связь имеется между *N* и *V*. Поэтому можно исключить один из аргументов из рассмотрения. Найдены линейные регрессионные зависимости (ЛРЗ) стоимости КН от двух указанных аргументов (*N*, *V*) и от одной мощности *N*. В последнем случае скорректированный индекс детерминации (СИД) больше 0,7. Китайские агрегаты имеют СИД функции одного аргумента даже чуть выше, чем у функции двух аргументов. Поэтому найденные ЛРЗ могут быть рекомендованы для использования при решении оптимизационных задач.

Ключевые слова: *коловратные насосы; характеристики; стоимость; мощность; рабочий объем; корреляционный анализ; регрессионные зависимости*.

Для цитирования: Наумов В.А. Статистический анализ технико-стоимостных характеристик коловратных насосов // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2025. Т. 11. № 1. С. 45–54.

Original article

STATISTICAL ANALYSIS OF TECHNICAL AND COST CHARACTERISTICS OF ROTARY LOBE PUMPS

V.A. Naumov[1,*]

[1] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[*] E-mail: van-old@mail.ru

Abstract. The statistical analysis of the technical and cost characteristics of lobe pumps (LP) manufactured by companies in Belarus and China was carried out. He showed high coefficients of paired correlation (CPC) of LP cost with the power of his electric motor *N* and the working volume *V*. At the same time, there is a close stochastic relationship between *N* and *V*. Therefore, one of the arguments can be excluded from consideration. Linear regression dependences (LRD) of the LB cost on the two specified arguments (*N*, *V*) and on one power *N* were found. In the latter case, the adjusted determination index (ADI) is greater than 0.7. Chinese aggregates have ADI of one argument function even slightly higher than that of two arguments. Therefore, the found LDR can be recommended for use in solving optimization problems.

Keywords: *rotary lobe pumps; characteristics; cost; capacity; working volume; correlation analysis; regression dependencies.*

For citation: Naumov V.A. Statistical analysis of technical and cost characteristics of rotary

© Наумов В.А. 2025

lobe pumps. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2025. V. 11, No. 1, pp. 45–54.

Введение

Последние десятилетия возрос интерес различных отраслей промышленности к коловратным насосам (КН) [1]. Заметим, что российские торговые и производственные компании часто называют эти насосы роторными кулачковыми или просто кулачковыми насосами. Многие научные коллективы в России и за рубежом проводят исследования по улучшению конструкции и повышению эффективности работы КН [2-4].

Как винтовые насосы (ВН) и шестеренные насосы (ШН), КН предназначен для перекачивания высоковязких жидкостей и пастообразных масс. Но КН, в отличие от двух названных типов насосов, весьма бережно перекачивает вязкую среду, не повреждая ее структуру. Причина этого важного свойства КН объясняется его особой конструкцией. В ШН одна камера предназначена и для подачи жидкости, и для передачи момента. В конструкции КН предусмотрено две камеры. Момент передается шестернями в силовой камере, как в ШН. Перекачиваемая жидкость подается кулачками, расположенными в рабочей камере. Замыкание между кулачками геометрическое, а не силовое.

Проведенный ранее анализ [5, 6] показал, что показатели энергетической эффективности и время безаварийной работы КН, как правило, выше, чем у ВН и ШН. Однако указанное усложнение конструкции делает стоимость КН заметно большей, чем у ВН и ШН. Поэтому используют КН лишь при необходимости сохранения структуры перекачиваемой среды. В таких условиях для подбора оборудования целесообразно применить методы оптимизации.

В статьях [7, 8] указано на необходимость учета в капитальных затратах изменения стоимости насоса при решении задачи определения оптимального диаметра трубопровода. Было предложено учесть зависимость стоимости насоса от его мощности. Но решение задачи оптимизации не было получено. Задача оптимизации параметров гидравлической системы при подборе диаметра трубопровода и центробежного насоса была решена в [9, 10], а шестеренного насоса – в [11]. Однако вопросы оптимизации для гидравлических систем с КН остаются до сих пор не исследованными. Одна из проблем, которую нужно предварительно решить – найти зависимость стоимости КН от его технических параметров. Данная статья посвящена решению указанной проблемы.

1 Материалы и методы

1.1 Исходные данные

Производством КН занимается большое количество российских и зарубежных компаний. Однако большинство из них не размещают прайс-листы на своих Интернет-ресурсах в открытом доступе. Кроме того, для анализа стоимостных характеристик был необходим перечень КН одного производителя с достаточно широким спектром технических параметров. Данные, удовлетворяющие таким требованиям, удалось обнаружить на Интернет-ресурсах компании «Русская ферма»[1] и компании Zenova[2]. В табл. 1 и 2 представлены данные КН названных кампаний (ротор с двумя кулачками). Обозначения в таблицах: C – стоимость насоса, тыс. руб.; N – мощность электродвигателя, кВт; Q – подача (производительность), дм^3/мин; V – рабочий объем, равный объему жидкости,

[1] Русская ферма. Роторные насосы [Электронный ресурс]. URL: https://russkayaferma.ru/catalog/rotornye-nasosy/ (дата обращения: 05.01.2025).
[2] Компания Zenova. Кулачковые пищевые насосы [Электронный ресурс]. URL: https://zenova.ru/category/kulachkovye-pishchevye-nasosy (дата обращения: 05.01.2025).

перекачиваемой за один оборот ротора (при отсутствии противодавления), дм^3; n – частота вращения ротора (ЧВР) с кулачками, об/мин.

В табл. 1 и 2 были отобраны насосы в базовой комплектации. Кроме них, выпускаются КН с рубашкой обогрева и регулятором ЧВР. Их стоимость выше, чем у базовой версии. Заметим, что у всех КН белорусского производства (завод «Брестмаш»), представленных в табл. 1, указано одинаковое рабочее давление 0,2 МПа, предельное давление P = 0,25 МПа. Тогда как в табл. 2 величина P отличается у разных марок КН.

Таблица 1 – Стоимость и номинальные технические параметры КН (производство Беларусь)[1]

Марка КН	C, тыс. руб.	N, кВт	Q, дм^3/мин	V, дм^3	n, об/мин
В3-ОР2-А2-01	165,20	0,75	33,3	0,054	610
В3-ОР2-А2-03	170,26	1,1	66,7	0,109	610
НМ-04	222,71	1,5	105	0,328	320
НМ-05	222,98	1,5	133,3	0,351	380
НМ-06	230,02	1,5	166,7	0,490	340
НМ-07	227,66	2,2	208	0,416	500
НР-10-01	253,46	1,5	166,7	0,457	365
НР-10-03	325,76	4,0	250	0,685	365

Таблица 2 – Стоимость и номинальные технические параметры КН (производство Китай)[2]

Марка КН	C, тыс. руб.	N, кВт	Q, дм^3/мин	V, дм^3	n, об/мин	P, МПа
2LX-9-007-300	166,656	0,75	24	0,080	300	0,45
2LX-9-015-465	168,672	1,5	37,5	0,080	465	0,60
2LX-18-015-300	204,960	1,5	48	0,160	300	0,45
2LX-36-015-150	254,520	1,5	48	0,320	150	0,90
2LX-18-022-640	280,392	2,2	102,4	0,160	640	0,30
2LX-36-030-374	285,264	3,0	209,4	0,560	374	0,60
2LX-36-022-650	329,952	2,2	208	0,320	650	0,30
2LX-60-040-374	401,856	4,0	350	0,936	374	0,30

1.2 Метод корреляционного анализа

Вначале возможность корреляционного анализа оценим визуально, с помощью графиков зависимости $N – C$, $V – C$, $Q – C$ и др. Если визуальная оценка позволит принять гипотезу о линейной форме связи между показателями, рассчитаем точечные оценки линейного коэффициента корреляции, иначе называемого коэффициентом парной корреляции Пирсона (КПК) по известной формуле. Например, для оценки степени тесноты связи между стоимостью КН и мощностью электродвигателя эта формула имеет вид:

$$r_{CN} = \frac{\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m}\left(C_i - Cs\right)\cdot\left(N_j - Ns\right)}{sC \cdot sN}, \qquad (1)$$

где m – объем выборки (в нашем случае по табл. 1 и 2 m=8); Cs, Ns – точечные оценки математического ожидания стоимости КН и мощности электродвигателя, соответственно; sC, sN – точечные оценки среднего квадратичного отклонения (СКО) стоимости КН и мощности электродвигателя, соответственно.

Оценку статистической значимости КПК проведем с помощью теста Стьюдента, рассчитав критическое значение КПК [12]:

$$r_{кр} = \frac{t_{кр}}{\sqrt{m-2+t_{кр}^2}}, \quad (2)$$

где $t_{кр}$ – критическое значение коэффициента Стьюдента, определяемого по числу степеней свободы $(m-2)$ и уровню значимости α=0,05.

Считая C случайной функцией, при двух аргументах (N, V) по формуле (1) получим матрицу КПК (точнее, точечные оценки КПК по имеющейся выборке):

$$r = \begin{pmatrix} 1 & r_{CN} & r_{CV} \\ r_{NC} & 1 & r_{NV} \\ r_{VC} & r_{VN} & 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Для оценки совместного влияния всех факторов на изучаемый признак C воспользуемся коэффициентом множественной корреляции (КМК), который рассчитывается по формуле [12]:

$$R_C = \sqrt{1-\frac{D}{D_{CC}}}, \quad (4)$$

где D – определитель полной матрицы КПК (3); корреляции, D_{CC} – определитель подматрицы (3), в которой вычеркнуты первая строка и первый столбец.

При небольшом объеме выборки рассчитывается скорректированный КМК:

$$R_{корр} = \sqrt{1-\left(1-R_C^2\right)\cdot\frac{m-1}{m-k-1}}, \quad (5)$$

где k – количество определяемых параметров случайной функции

Проверка статистической значимости КМК выполним по критерию Фишера [12]:

$$R_{кр} = \sqrt{\frac{F_{кр}}{F_{кр}+\left(m-k-1\right)/k}}, \quad (6)$$

где $F_{кр}$ – критическое значение статистики Фишера, определяемое по уровню значимости α и двум степеням свободы: k и $(m-k-1)$.

Для расчета коэффициентов частной корреляции (КЧК) воспользуемся методом алгебраических дополнений [12]. Алгебраические дополнения получают из матрицы (3) вычеркиванием соответствующей строки и столбца. КЧК C–N при неизменной величине V рассчитывается по формуле:

$$R_{C-N/V} = \frac{-D_{CN}}{\sqrt{D_{CC}\cdot D_{NN}}}, \quad D_{CN} = \left(-1\right)^{1+2}\cdot det\begin{pmatrix} r_{CN} & r_{VN} \\ r_{CV} & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

КЧК C– V при неизменной величине N рассчитывается по формуле:

$$R_{C-V/N} = \frac{-D_{CV}}{\sqrt{D_{CC} \cdot D_{VV}}}, \quad D_{CV} = (-1)^{1+3} \cdot det \begin{pmatrix} r_{CN} & 1 \\ r_{CV} & r_{VN} \end{pmatrix}. \tag{8}$$

1.3 Уравнения линейной регрессии

Если установлена достаточно тесная стохастическая связь между случайными величинами, можно получить линейные регрессионные зависимости (ЛРЗ) при двух аргументах по формуле (9) или при одном аргументе по (10).

$$C \equiv f(N, V) = a_0 + a_1 N + a_2 V; \tag{9}$$

$$C \equiv \varphi_1(N) = b_{10} + b_{11} N;\ C \equiv \varphi_2(V) = b_{20} + b_{21} V; \tag{10}$$

где a_0, a_1, a_2, b_{10}, b_{11}, b_{20}, b_{21} – эмпирические константы, которые определяются методом наименьших квадратов по данным таблиц 1 и 2.

Оценка соответствия ЛРЗ и реальной зависимости осуществляется с помощью коэффициента детерминации R^2. Скорректированное значение R^2 можно найти, возведя в квадрат КМК (5) [12]:

$$R_2^2 = R_{корр}^2 = 1 - \left(1 - R_C^2\right) \cdot \frac{m-1}{m-k-1}. \tag{11}$$

2 Результаты и обсуждение

2.1 Результаты корреляционного анализа данных табл. 1

Визуальный анализ (рис. 1) стохастической связи стоимости КН из табл. 1 с другими характеристиками показал, что КПК целесообразно рассчитывать для зависимостей *N*–*C* и *V*–*C*. Увеличение как *N*, так и *V* приводит к росту *C*. Для остальных показателей такой расчет не целесообразен. Для примера приведен график связи *Q*–*C* (рис. 1*c*). Во-первых, наблюдается большое рассеивание экспериментальных точек. Во-вторых, по рис. 1*c* получается, что с увеличением подачи стоимость КН несколько снижается, что противоречит смыслу задачи. Поэтому была рассчитана матрица КПК для трех характеристик: *C*, *N*, *V* по формулам (1), и (3). Результат расчета (11) подтверждает гипотезу о тесной стохастической связи указанных величин; r_{CN} =0,906 и r_{CV} =0,955 больше $r_{кр}$.

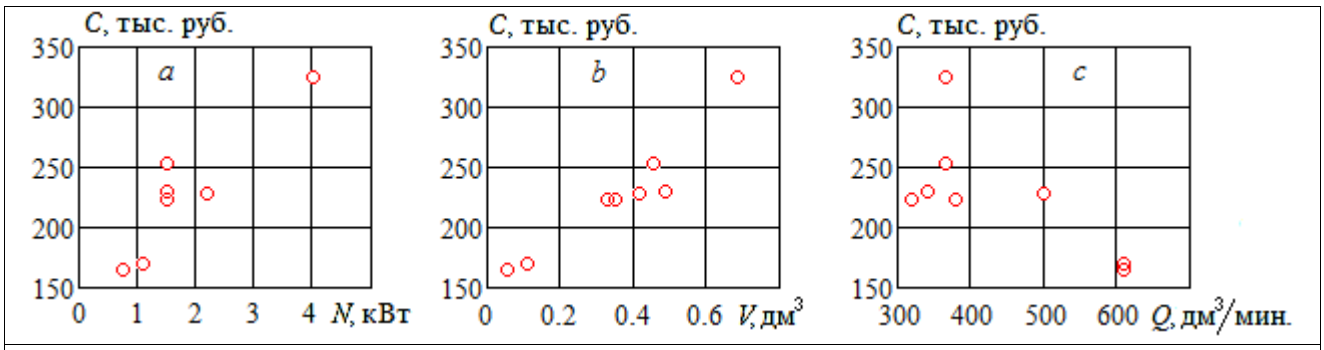


Рисунок 1 – Стохастическая связь между стоимостью КН (табл. 1) мощностью электродвигателя *N* (*a*), объемом *V* (*b*), подачей *Q* (*c*)

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}906 & 0{,}955 \\ 0{,}906 & 1 & 0{,}827 \\ 0{,}955 & 0{,}827 & 1 \end{pmatrix}. \tag{11}$$

Значение КМК, рассчитанное по формулам (4) и (5):

$$R_C = \sqrt{1-\frac{0{,}0145}{0{,}316}} = 0{,}977, \quad R_{корр} = \sqrt{1-\left(1-0{,}977^2\right)\cdot\frac{8-1}{8-3-1}} = 0{,}959. \qquad (12)$$

Видно, что различие значений R_C и $R_{корр}$ невелико, они оба больше $R_{кр}$.

Результаты КЧК по формулам (7), (8):

$$R_{C-N/V} = \frac{-(-0{,}116)}{\sqrt{0{,}316\cdot 0{,}088}} = 0{,}697; \quad R_{C-V/N} = \frac{-(-0{,}206)}{\sqrt{0{,}316\cdot 0{,}189}} = 0{,}853. \qquad (13)$$

2.2 Результаты корреляционного анализа данных табл. 2

Визуальный анализ (рис. 2) стохастической связи стоимости КН из табл. 2 с другими характеристиками показал, что КПК целесообразно рассчитывать для зависимостей *N*–*C* и *V*–*C*. Для остальных показателей такой расчет не целесообразен. Для примера приведен график связи *P*–*C* (рис. 2*c*). Как и в предыдущем подразделе, была рассчитана матрица КПК для трех характеристиками: *C*, *N*, *V* по формулам (1), и (3). Результат расчета (14) подтверждает гипотезу о тесной стохастической связи указанных величин; r_{CN} =0,891 и r_{CV} =0,858.

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}891 & 0{,}858 \\ 0{,}891 & 1 & 0{,}920 \\ 0{,}858 & 0{,}920 & 1 \end{pmatrix}. \qquad (14)$$

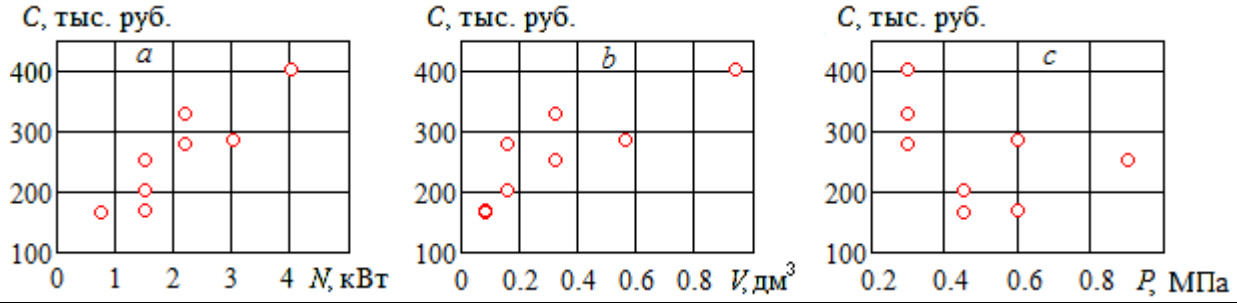


Рисунок 2 – Стохастическая связь между стоимостью КН (табл. 2) мощностью электродвигателя *N* (*a*), объемом *V* (*b*), давлением *P* (*c*)

Значение КМК, рассчитанное по формулам (4) и (5):

$$R_C = \sqrt{1-\frac{0{,}0186}{0{,}107}} = 0{,}909, \quad R_{корр} = \sqrt{1-\left(1-0{,}909^2\right)\cdot\frac{8-1}{8-3-1}} = 0{,}834. \qquad (15)$$

2.3 Линейные регрессионные зависимости

Значения коэффициентов линейной регрессии двух аргументов, найденные методом наименьших квадратов представлены в табл. 3. Туда же помещены рассчитанные коэффициенты детерминации. Контурные графики по этим данным построены на рис. 3 и 4.

Таблица 3 – Параметры ЛРЗ двух аргументов

Производитель	a_0	a_1	a_2	R_2^2	$R_{корр}^2$
Беларусь[1]	137,28	18,44	159,39	0,954	0,920
Китай[2]	129,92	52,29	69,68	0,804	0,656

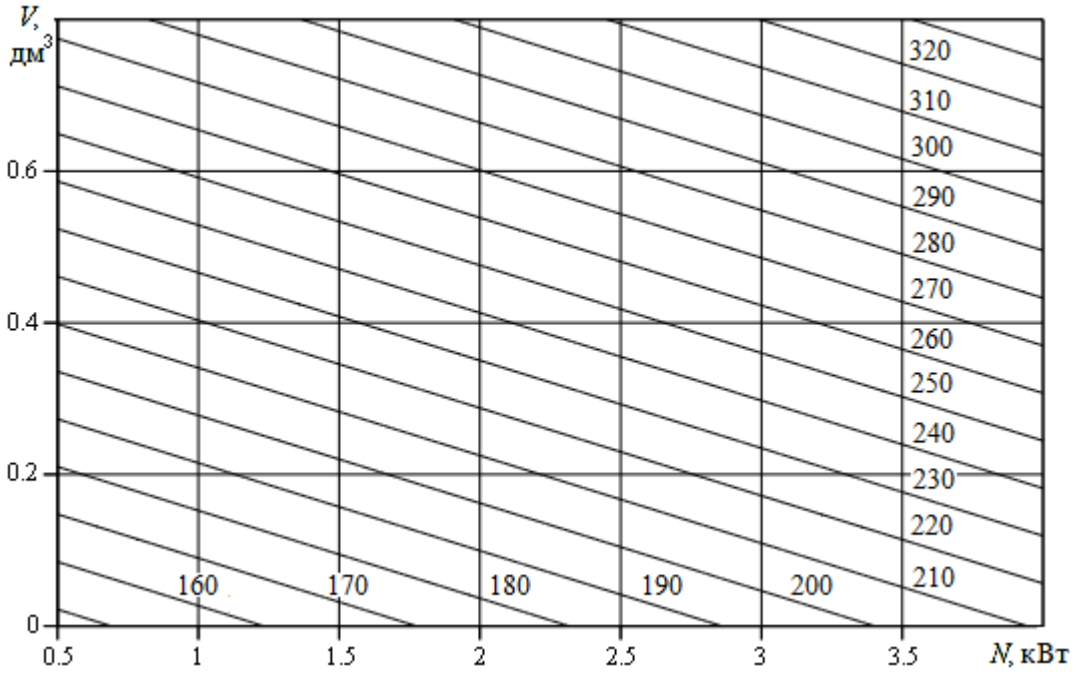


Рисунок 3 – Линейная регрессионная зависимость стоимости КН (тыс. руб.) производства Беларусь[1] от его мощности и рабочего объема (по данным табл. 1)

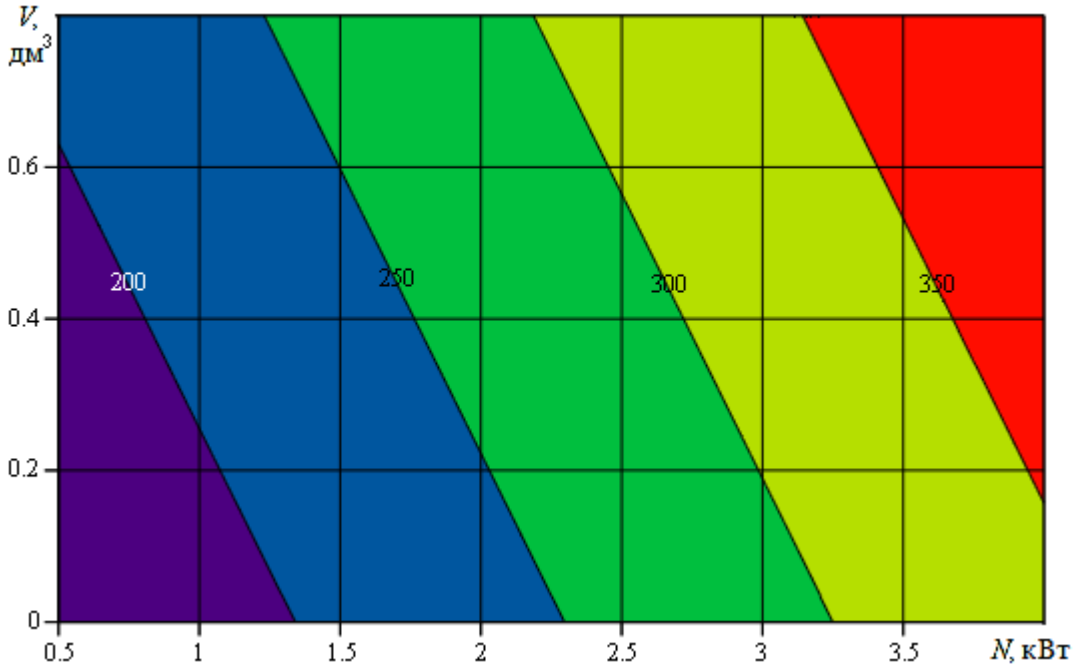


Рисунок 4 – Линейная регрессионная зависимость стоимости КН (тыс. руб.) производства Китай[1] от его мощности и рабочего объема (по данным табл. 2)

Обратим внимание, КПК двух выделенных аргументов весьма велики, по матрице (11) r_{NV} = 0,827, по матрице (14) r_{NV} = 0,920. Мощность довольно тесно связана с объемом КН. При таких условиях в прикладной математической статистике один из аргументов исключают [12]. Для решения оптимизационных задач требуется зависимость стоимости от мощности [9, 10]. Поэтому проверим возможность замены зависимости двух аргументов (9) $f(N, V)$ на первую зависимость (10) одного аргумента $\varphi_1(N)$.

На рис. 5 показаны результаты сравнения линейных регрессионных зависимостей и данных прайс-листов. Расчетные значения представлены в табл. 4.

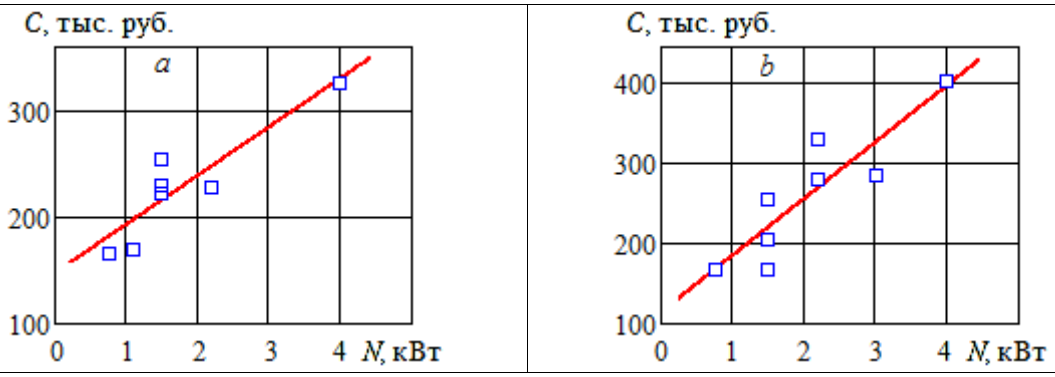


Рисунок 5 – Стохастическая связь между стоимостью КН и мощностью электродвигателя: *a* – по табл. 1, *b* – по табл. 2.
Точки – данные прайс-листов, линии – расчет по первой формуле (10)

Таблица 4 – Параметры ЛРЗ одного аргумента (*N*)

Производитель	b_{10}	b_{11}	R_1^2	$R_{корр}^2$
Беларусь[1]	147,29	45,53	0,820	0,748
Китай[2]	114,85	70,66	0,794	0,711

По табл. 4 скорректированный коэффициент детерминации ЛРЗ одного аргумента (*N*) больше 0,7. Значит, в оптимизационных задачах вполне допустимо их использовать. Причем у КН серии 2LX этот показатель выше, чем у ЛРЗ двух аргументов в табл. 3 (0,711 и 0,656, соответственно).

Заключение

Таким образом, проведенный статистический анализ показал высокие КПК стоимости КН с мощностью его электродвигателя и рабочим объемом. У КН производства белорусской компании КПК r_{CN}=0,906, r_{CV}=0,955; у КН производства китайской компании – r_{CN}=0,891, r_{CV}=0,858. Тесная стохастическая связь имеется между мощностью и рабочим объемом КН обеих производителей (r_{NV} = 0,827 и 0,920, соответственно). Поэтому можно исключить один из аргументов из рассмотрения. Найдены ЛРЗ стоимости КН от двух указанных аргументов и от одного – мощности. В последнем случае скорректированный индекс детерминации больше 0,7, а у китайских КН он даже выше, чем у функции двух аргументов. Поэтому найденные ЛРЗ стоимости КН от мощности его электродвигателя могут быть рекомендованы для использования при решении оптимизационных задач.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Karassik I. J., Messina J. P., Cooper P., Heald C. C. Displacement Pumps // Pump Handbook. Ed. I.J. Karassik. New York: McGraw-Hill, 2001. P. 609–640.

2. Kang Y.H., Vu H.H. A newly developed rotor profile for lobe pumps: Generation and numerical performance assessment // Journal of Mechanical Science and Technology. 2014. V. 28. No, 3. P. 915-926.

3. Li Y.B., Du J., Guo D.S. Numerical research on viscous oil flow characteristics inside the rotor cavity of rotary lobe pump // Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2019. V. 41. P. 1-11.

4. Ahmedova N.R., Levicheva O.I., Naumov V.A. Influence of liquid food products viscosity on lobe pump performance (case of pumping fish oil) // Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2022. No. 3. P. 74-81.

5. Ахмедова Н.Р., Левичева О.И., Наумов В.А. Влияние вязкости жидких пищевых продуктов на энергетическую эффективность кулачковых насосов // Известия вузов. Пищевая технология. 2023. № 5-6 (394). С. 88-93.

6. Наумов В.А. Производительность и энергетическая эффективность коловратного насоса при перекачивании мясного фарша // Все о мясе. 2024. № 4. С. 27-32.

7. Pang-Ngam M., Soponpongpipat N. On the optimum pipe diameter of water pumping system by using engineering economic approach in case of being the Installer for consuming water // Journal of Science and Technology Mahasarakham University. 2012. V. 31, No.5. P. 618-624.

8. Sakr M.R., Gooda E.A. Economical velocity through pipeline networks. Case studies of several different markets // Alexandria Engineering Journal. 2018. V. 57. P. 2999-3007.

9. Наумов В.А. Определение оптимального диаметра трубопровода локальной системы водоснабжения с учетом нагрузочных характеристик и затрат на центробежный насос // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 2(47). С. 153-160.

10. Наумов В.А., Шторк А.В. Особенности определения оптимального диаметра при проектировании систем водоснабжения с полиэтиленовыми трубами // Региональная архитектура и строительство. 2023. № 4(57). С. 176-183.

11. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Экономико-математическая модель выбора параметров трубопроводных систем снабжения мазутом // Технико-технологические проблемы сервиса. 2022. № 3(61). С. 29-35.

12. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Москва: Физматлит, 2006. 816 с.

REFERENCES

1. Karassik I. J., Messina J. P., Cooper P., Heald C. C. Displacement Pumps. Pump Handbook. Ed. I.J. Karassik. New York: McGraw-Hill, 2001, pp. 609–640.

2. Kang Y.H., Vu H.H. A newly developed rotor profile for lobe pumps: Generation and numerical performance assessment. Journal of Mechanical Science and Technology. 2014. V. 28. No, 3, pp. 915-926.

3. Li Y.B., Du J., Guo D.S. Numerical research on viscous oil flow characteristics inside the rotor cavity of rotary lobe pump. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering. 2019. V. 41, pp. 1-11.

4. Ahmedova N.R., Levicheva O.I., Naumov V.A. Influence of liquid food products viscosity on lobe pump performance (case of pumping fish oil). Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry. 2022. No. 3, pp. 74-81.

5. Ahmedova N.R., Levicheva O.I., Naumov V.A. *Vliyanie vyazkosti zhidkih pishchevyh produktov na energeticheskuyu effektivnost' kulachkovyh nasosov* [Influence viscosity of liquid food products on the energy efficiency of lobe pumps]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*. 2023. No. 5-6 (394), pp. 88-93.

6. Naumov V.A. *Proizvoditel'nost' i energeticheskaya effektivnost' kolovratnogo nasosa pri perekachivanii myasnogo farsha* [Productivity and energy efficiency of the lobe pump for minced meat pumping]. *Vse o myase*. 2024. No. 4, pp. 27-32.

7. Pang-Ngam M., Soponpongpipat N. On the optimum pipe diameter of water pumping system by using engineering economic approach in case of being the Installer for consuming water. Journal of Science and Technology Mahasarakham University. 2012. V. 31, No.5, pp. 618-624.

8. Sakr M.R., Gooda E.A. Economical velocity through pipeline networks. Case studies of several different markets. Alexandria Engineering Journal. 2018. V. 57, pp. 2999-3007.

9. Naumov V.A. *Opredelenie optimal'nogo diametra truboprovoda lokal'noj sistemy vodosnabzheniya s uchetom nagruzochnyh harakteristik i zatrat na centrobezhnyj nasos* [Determination of the pipeline optimal diameter of local water supply system, taking into account load characteristics and costs of a centrifugal pump]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*. 2022. No. 2(47), pp. 153-160.

10. Naumov V.A., Shtork A.V. *Osobennosti opredeleniya optimal'nogo diametra pri proektirovanii sistem vodosnabzheniya s polietilenovymi trubami* [Features of determining the optimal diameter in the design of water supply systems with polyethylene pipes]. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*. 2023. No. 4(57), pp. 176-183.

11. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Ekonomiko-matematicheskaya model' vybora parametrov truboprovodnyh sistem snabzheniya mazutom* [Economic and mathematical model of choice parameters of pipeline fuel oil supply systems]. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2022. No. 3(61), pp. 29-35.

12. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow: Fizmatlit, 2006. 816 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ	INFORMATION ABOUT THE AUTHOR
Наумов Владимир Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: van-old@mail.ru)	*Naumov Vladimir Arkad'evich* – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: van-old@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 03.01.2025; одобрена после рецензирования 10.01.2025, принята к публикации 25.01.2025.
The article was submitted 03.01.2025; approved after reviewing 10.01.2025; accepted for publication 25.01.2025.