

Keywords: fertility, fertilizers, sprayers, machines, yield, quality.

Abstract. The paper discusses the technical means for the application of liquid mineral fertilizers (LMU) using various technologies, including the tendency to increase the yield and quality of agricultural crops in the experiments conducted by the Samara State Agricultural Academy together with the plant for the production of nitrogen fertilizers, including and liquid, - PJSC "KuibyshevAzot", German company "AMAZONEN-Werke" and its enterprise in Russia (Samara) - JSC "Euro-technology".

УДК 51-74:631.3

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ВАКУУМНЫХ ВОДОКОЛЬЦЕВЫХ НАСОСОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Наумов В. А.,

доктор технических наук, профессор
Калининградский государственный технический университет
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ
Тел.: 8(4012)99-53-37, E-mail: van-old@mail.ru

Ключевые слова: установки машинного доения, водокольцевые вакуумные насосы, коэффициент полезного действия.

Аннотация. Главным недостатком водокольцевых вакуумных насосов в установках машинного доения является низкий коэффициент полезного действия. Его значений нет ни в опубликованных результатах исследований, ни в документах производителей. В статье предложен метод расчета изотермного коэффициента полезного действия вакуумных насосов во всем диапазоне давлений всасывания с использованием аппроксимаций нагрузочных характеристик. Максимальное значение коэффициента полезного действия таких насосов наблюдается при номинальном давлении всасывания и составляет примерно 40 %.

Введение. Механизация процессов в молочном животноводстве невозможна без применения установок машинного доения [1]. В состав доильной машины входят: вакуумная установка, включающая вакуумный насос с электродвигателем, глушителем и предохранителем; вакуум-балон; вакуум-провод с вакуум-регулятором; доильные аппараты, подключаемые к вакуумной линии [2]. В доильных установках используются вакуумные насосы различных типов, чаще всего пластинчато-роторные, водокольцевые и поршневые. В ряде опубликованных работ (см. [3-5] и библиографию в них) показаны преимущества использования в установках машинного доения водокольцевых вакуумных насосов (ВВН). В частности, простота конструкции и низкие эксплуатационные расходы, воздух в насосе не загрязняется смазкой; мелкие механические примеси, попадающие в насос, не наносят вреда.

В водокольцевом насосе единственным движущимся элементом является рабочее колесо. При этом его вращение происходит без соприкосновения с корпусом. Это приводит к снижению износа деталей по сравнению с другими типами насосов. При одинаковой производительности ВВН дешевле ротационных в два, а поршневых в три раза [5], что имеет большое значение для себестоимости производства молока.

Главным недостатком ВВН является низкий коэффициент полезного действия (КПД), что приводит к невысокой энергетической эффективности доильных установок на их основе. Продолжается поиск путей ее повышения. В [3] было экспериментально установлено, что энергоемкость процесса и подача эффективности работы ВВН увеличивается с ростом числа Рейнольдса. Авторы [4] полагают, что для малогабаритных доильных агрегатов способствовать решению этой задачи будет определение основных конструктивных параметров и режимов работы ВВН.

В [6] разработан энергосберегающий привод ВВН экспериментальной доильной установки с переменной подачей воздуха за счет изменения частоты вращения ротора регулированием частоты питающей сети. Авторы [7] считают, что

исследование амплитуды частоты колебаний давления в вакуумной системе в зависимости от количества одновременно работающих доильных аппаратов позволит согласовать конструкционно-технологические параметры вакуумной системы и уменьшить затраты энергии на технологический процесс машинного доения коров.

Заметим, что во всех перечисленных работах отсутствуют какие-либо количественные оценки КПД ВВН. Цель данной работы – дать оценку КПД ВВН, применяемых в отечественных установках машинного доения.

Объекты, материалы и методы исследования. В [2] отмечено, что в установках машинного доения коров российского производства широко используются водокольцевые вакуумные насосы моделей ВВН1-3, ВВН1-6, ВВН1-12. Единица в обозначении модели говорит, что номинальное давление всасывания равно 40 кПа (60% вакуума от барометрического давления). Последнее число представляет собой номинальную производительность Q (скорость откачки, кубические метры в минуту), приведенную к давлению всасывания. Насосы вакуумные водокольцевые типа ВВН выпускают ЗАО «Беском», АО «ГМС Ливгидромаш», ЗАО «Пензаггореммаш» и другие российские производители [8-10]. Все они указывают, что концентрация примесей применяемой в качестве рабочей жидкости воды не должна превышать 25 мг/л, а общая жёсткость – 3 мг.экв/л. Допустимый размер механических примесей в рабочей жидкости – до 0,1 мм.

Кроме производительности, к основным параметрам насосной установки относятся: N – потребляемая (затраченная) мощность на валу насоса, n – частота вращения вала электродвигателя, q – количество воды подаваемой в насос, m – масса насоса. Указанные параметры внесены в табл. 1, у разных производителей они, практически, не отличаются.

Таблица 1 – Основные параметры водокольцевых насосов [8-10]

№ пп	Параметры	Модель насоса			
		ВВН1-1,5	ВВН1-3	ВВН1-6	ВВН1-12
1	Q , м ³ /мин	1,57	3,33	6,20	12,1
2	N , кВт	2,80	5,15	9,60	18,6

3	q , л/мин	5	7	11	23
4	n , об/мин	1500	1500	1500	1000
5	m , кг	32	105	200	410
6	$\eta_{из}$, %	34,62	39,96	39,88	40,17

В отличие, например, от центробежных насосов производители ВВН не приводят КПД. Покажем, как его можно оценить. ВВН относятся к охлаждаемым компрессорным машинам. В таких машинах наименьшая работа затрачивается при изотермическом сжатии газа, поэтому сравнение проводится с условной машиной, сжимающей газ по изотерме. Отношение мощности при изотермическом сжатии $N_{из}$ к затраченной мощности N характеризует совершенство процесса в вакуумном насосе, работающем с охлаждением воздуха, и носит название изотермного КПД (см., например, [11]):

$$\eta_{из} = 100 \cdot N_{из} / N, \quad N_{из}(P) = P \cdot Q(P) \cdot \ln(P_a / P), \quad (1)$$

где P – абсолютное остаточное давление всасывания, Па; P_a – атмосферное давление, Па; Q – производительность ВВН (скорость откачки, приведенная к условиям всасывания), м³/с.

Выполним расчет по (1) для номинального режима моделей ВВН1, учитывая, что $P = 40\,000$ Па, величины N и Q заданы в табл. 1 (только подачу насоса нужно перевести в м³/с). Результаты расчета внесены в табл. 1 (6-я строка). Кроме модели ВВН1-1,5, которая редко используется в доильных установках, у остальных моделей изотермный КПД при номинальной производительности примерно 40 %.

Нередко при исследовании процессов в доильных установках ограничиваются номинальным режимом, не учитывая, что ВВН могут работать при переменном давлении всасывания и производительности. Производители ВВН приводят нагрузочные характеристики (зависимости Q и N от давления всасывания P), с помощью которых можно рассчитать изотермный КПД на режимах, отличных от номинального. На рис. 1 точками показаны экспериментальные данные [8]. Они могут быть аппроксимированы зависимостями:

$$N(P) = A_0 + A_1 \cdot P, \text{ при } P_0 < P < P_a, \quad (2)$$

$$Q(P) = \begin{cases} B_0 + B_1 \cdot P + B_2 \cdot P^2 + B_3 \cdot P^3 + B_4 \cdot P^4, & \text{при } P_0 < P < P_*; \\ Q_* = \text{const}, & \text{при } P_* < P < P_a. \end{cases} \quad (3)$$

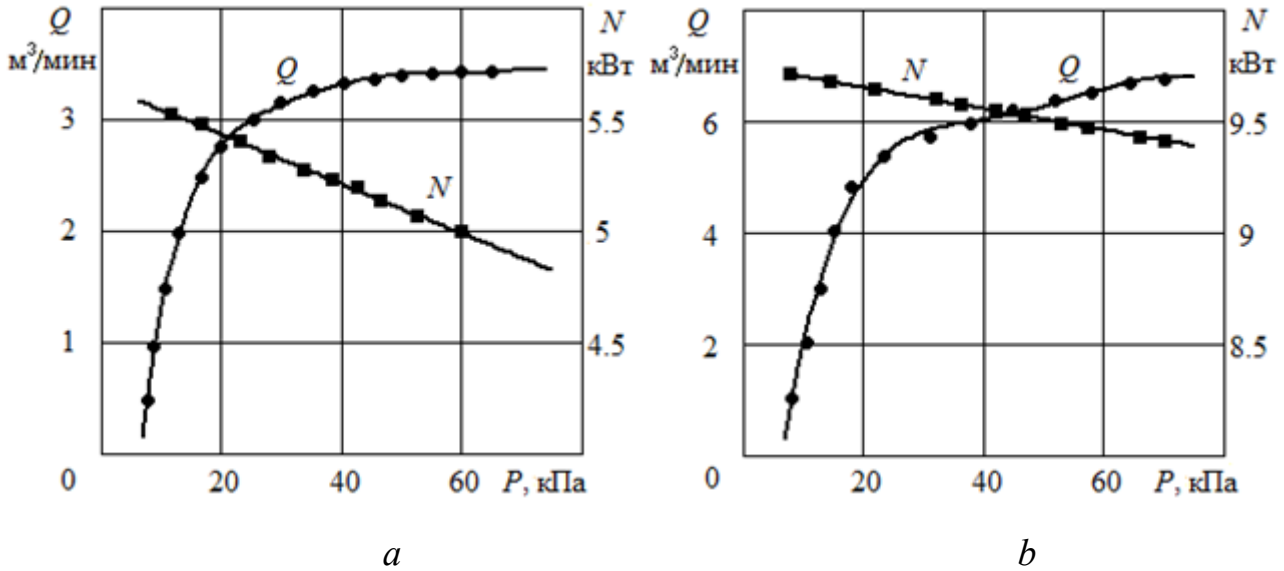


Рисунок 1 – Нагрузочные характеристики водокольцевых вакуумных насосов:

a – ВВН1-3; b – ВВН1-6. Точки экспериментальные данные [8], линии – результаты расчета по формулам (2), (3)

Эмпирические константы в формулах (2)-(3) были найдены методом наименьших квадратов. В частности, для модели ВВН1-3:

$$P_0 = 6 \text{ кПа}; P_* = 70 \text{ кПа}; Q_* = 3,44 \text{ м}^3/\text{мин}; A_0 = 5,65 \text{ кВт}; A_1 = -0,0111 \text{ кВт/кПа};$$

$$B_0 = -2,57 \text{ м}^3/\text{мин}; B_1 = 0,531 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кПа}); B_2 = -0,0176 \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кПа}^2);$$

$$B_3 = 2,511 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кПа}^3); B_4 = -2,511 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/(\text{мин} \cdot \text{кПа}^4).$$

Результаты и их обсуждение. Подставив зависимости (2), (3) в формулу (1), получим изотермный КПД при произвольных значениях давления всасывания. На рисунок 2 точками показаны результаты расчетов $\eta_{из}$ для трех моделей ВВН. Линия – результат расчета по формуле (4). Точки – значения, полученные по экспериментальным данным: 1 – ВВН1-3, 2 – ВВН1-6, 3 – ВВН1-12

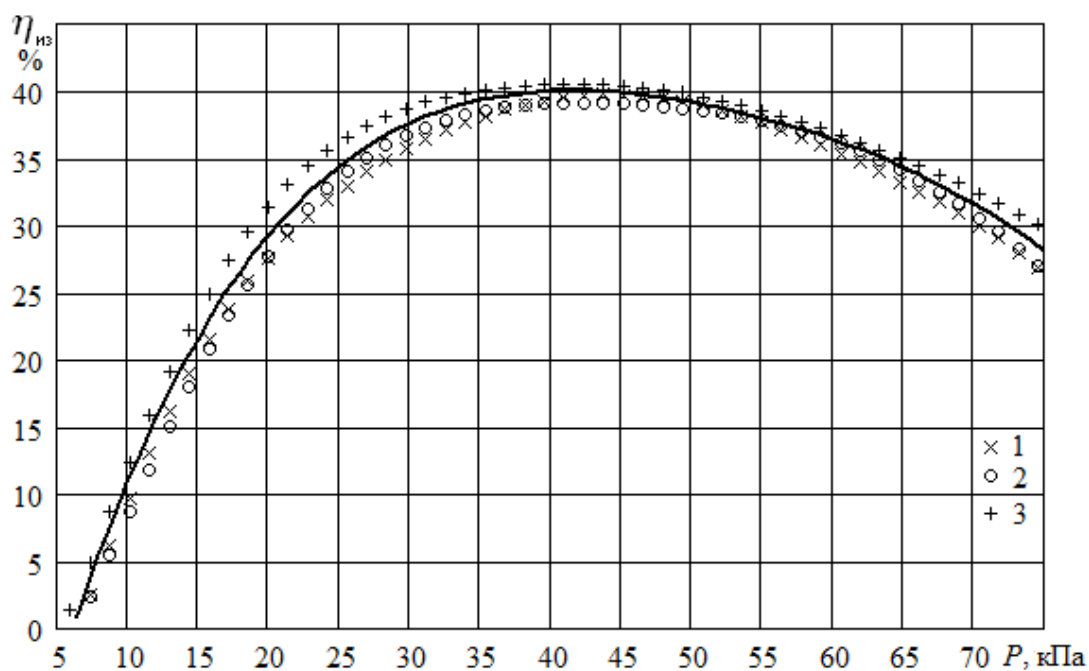


Рисунок 2 – Изотермный КПД водокольцевых вакуумных насосов.

Видно, что во всем диапазоне давлений они отличаются незначительно.

Была получена эмпирическая формула

$$\eta(P) = 100 \cdot (k_0 + k_1 \cdot P + k_2 \cdot P^2 + k_3 \cdot P^3 + k_4 \cdot P^4), \quad \text{при } P_0 < P < P_a, \quad (4)$$

$$k_0 = -0,238; k_1 = 0,0448 \text{ 1/кПа}; k_2 = -1,146 \cdot 10^{-3} \text{ 1/кПа}^2;$$

$$k_3 = 1,299 \cdot 10^{-5} \text{ 1/кПа}^3; k_4 = -5,923 \cdot 10^{-8} \text{ 1/кПа}^4.$$

Индекс детерминации формулы (4) достаточно высок $R^2 = 0,984$. 98,4 % изменений изотермного КПД обусловлены вариацией давления всасывания, и только 1,6 % – другими факторами.

Максимальное значение изотермного КПД наблюдается при номинальном давлении всасывания (40 кПа). В диапазоне от 27 до 60 кПа снижение в пределах 10% от максимальной величины, от 18 до 77 кПа – 20 %. При давлении всасывания 10 кПа изотермный КПД составляет примерно 10 %.

Для расчета КПД ВВН реальных доильных установок нужно учесть отличие процесса сжатия от изотермического, а также механический и объемный КПД. Но и полученные величины могут служить ориентировочной оценкой энергетической эффективности ВВН.

Заключение. Выполнена аппроксимация нагрузочных характеристик ВВН. Предложенный метод с их использованием позволяет количественно оценивать энергетическую эффективность ВВН во всем диапазоне давлений всасывания. Максимальное значение изотермного КПД у ВВН, используемых в доильных установках, наблюдается при номинальном давлении всасывания (40 кПа) и составляет примерно 40 %. При больших или меньших давлениях КПД снижается, при 10 кПа падает до 10 %.

Библиографический список

1. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Ленинград: Колос, 1978. – 560 с.
2. Ведищев, С.М. Механизация доения коров: учебное пособие / С.М. Ведищев. Тамбов: Изд-во Тамбовского государственного технического университета, 2006. – 94 с.
3. Матвеев, А.Н. Обоснование параметров водокольцевого вакуумного насоса двойного действия для доильных установок / А.Н. Матвеев, И.Я. Федоренко // Вестник Алтайской науки. – 2001. – № 2. – С. 162-165.
4. Исследование доильного аппарата с индивидуальным источником вакуума и обоснование производительности насоса / Б.Г. Зиганшин, И.Е. Волков, Ф.Ф. Ситдииков, Р.Р. Лукманов // Тракторы и сельхозмашины. – 2007. – № 4. – С. 48-49.
5. Кутья, О.В. Преимущества эксплуатации вакуумных водокольцевых насосов / О.В. Кутья // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства. – 2011. – Вып. 110. – С. 69-73.
6. Герасимова, О.А. Экспериментальное исследование энергосберегающего привода водокольцевого вакуумного насоса для доения коров на пастбищах / О.А. Герасимова, Т.Н. Карасева, Е.В. Радкевич // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 1 (21). – С. 168-181.

7. Дмитрив, В.Т. Моделирование колебаний давления вакуумной системы доильной установки / В.Т. Дмитрив, И.В. Дмитрив // Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства. – 2017. – Вып. 180. – С. 115-123.

8. ЗАО «Беском». Водокольцевые вакуум-насосы и компрессоры. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный: http://servocompressor.ru/docs/vvn/vvn_vk.pdf (дата обращения: 01.09.2018).

9. АО «ГМС Ливгидромаш» Насосы вакуумные водокольцевые типа ВВН. Руководство по эксплуатации [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный: http://www.hms-livgidromash.ru/upload/iblock/6f7/re-vvn1_3-i-vvn-1_12-_-vvn1_6_.pdf (дата обращения: 01.09.2018).

10. ЗАО «Пензаггореммаш». Насосы вакуумные водокольцевые. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс]. Режим доступа – свободный: http://penzagrm.nt-rt.ru/images/manuals/nasos_vak.pdf (дата обращения: 01.09.2018).

11. Гидромашинны и компрессоры: учебное пособие / В.М. Касьянов, С.В. Кривенков, А.И. Ходырев, А.Г. Чернобыльский. Ч. 3. Компрессорные машины. – Москва: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2007. – 168 с.

The efficiency of liquid ring vacuum pumps

Used in milking machines

Naumov V. A.

Keywords: milking machines, water ring vacuum pumps, efficiency.

Abstract. Low efficiency is the main drawback of water ring vacuum pumps in milking machines. Its values are neither in the published research results nor in the manufacturers ' documents. The method of calculation of the isothermal efficiency of vacuum pumps in the entire range of suction pressures using approximations of load characteristics is proposed in the article. The maximum value of the efficiency of such pumps is observed at the nominal suction pressure and is about 40 %.