

УДК 631.363

**ОПТИМИЗАЦИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РОТАЦИОННОГО
НАСОСА-ДОЗАТОРА ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**
**OPTIMIZATION OF APPLICATION ROTARY DOSING PUMP
PERISTALTIC ACTION PERFORMANCE**

И.В. Юдаев, доктор технических наук, профессор

А.Н. Глобин, кандидат технических наук, доцент

Н.В. Плотникова, магистрант

I.V. Yudaev, A.N. Globin, N.W. Plotnikova

*Азово-Черноморский инженерный институт –**филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет». г. Зерноград**Azov-Black Sea Engineering Institute –**branch of FSBEI HE «Don State Agrarian University», Zernograd*

В статье рассмотрен ротационный насос-дозатор в составе линии приготовления кормовых смесей, имеющий взаимосвязанные узлы, агрегаты и детали. Оптимизация подобных систем является технико-экономической задачей. Это обусловлено тем, что при эксплуатации оборудования между параметрами системы существуют не только физико-технические, но и экономические связи. Поэтому предлагается использовать метод обобщенных переменных. Этот метод позволяет объединить в некоторое число безразмерных комплексов исходные экономические и технические данные. При постоянной заданной подаче насоса-дозатора его размеры и мощность электродвигателя зависят от частоты вращения ротора, поэтому за свободный параметр системы принята частота вращения ротора насоса-дозатора. Затраты на насос-дозатор представляют собой сумму затрат на амортизацию и ремонт его, а также технологические затраты, связанные с затратами на износ. При форсировании насоса-дозатора эти затраты зависят от частоты вращения ротора насоса и их можно представить в виде эмпирической зависимости и целевой функции. Для её решения использован графоаналитический метод. Построив график изменения функции и определив направление, получена точка минимума кривой. По этим данным оптимальной частотой вращения ротора насоса-дозатора является $n_{\text{опт}} = 470 \text{ мин}^{-1}$. Эксперименты по определению эффективности работы такого дозатора подтвердили полученные данные по оптимизации частоты вращения ротора насоса-дозатора жидких материалов.

The article describes the rotary metering pump as part of the feed mixture preparation line, which has a number of interconnected units and units. The optimization of such systems is caused by the fact that they belong to the technical and economic problems, as in the process of their implementation and use act as physical and technical links between the system parameters, and economic, accounting of which complicates their solution. For this purpose, the method of generalized variables is used, combining the initial economic and technical data in a small number of dimensionless complexes. With a constant supply of the metering pump, its dimensions and the mass of the electric motor depend on the rotor speed. Therefore, as the source of the free parameter of the object is adopted, the frequency of rotation of the rotor of the dosing pump. The cost of the metering pump is the amount of depreciation and repair costs, as well as part of the process costs, which are classified as wear costs. The costs associated with the wear of the metering pump during its forcing depend on the rotor speed and can be presented in the form of empirical dependence and objective function. To solve the objective function, a graph-analytical method is used. By plotting the change of function and determining the direction, the minimum point of the curve is obtained. According to this optimum rotation frequency of the rotor of the dosing pump is $n_{\text{opt}} = 470 \text{ min}^{-1}$. Experiments to determine the efficiency of such a dispenser confirmed the obtained data on the optimization of the rotor speed of the liquid materials dosing pump.

Ключевые слова: насос-дозатор, оптимизация, эффективность, функция, график изменения функции, частота вращения, затраты.

Keywords: dosing pump, optimization, efficiency; function, graph the function chang-

es, frequency of rotation, costs.

Введение. Ротационный насос-дозатор в составе линии приготовления кормовых смесей, имеет взаимосвязанные узлы, агрегаты и детали. Оптимизация подобных систем является технико-экономической задачей. Это обусловлено тем, что при эксплуатации оборудования между параметрами системы существуют не только физико-технические, но и экономические связи.

Цель исследования – рассмотрение вопроса о возможности оптимизации работы дозирующих систем при работе в линиях приготовления кормов на основе анализа технических и экономических показателей на примере ротационного насоса-дозатора перистальтического действия, используемого для дозирования и перекачки жидкостей при производстве кормовых смесей.

Материалы и методы. Для проведения исследования может быть использован метод обобщенных переменных. Этот метод позволяет объединить физические, технические и экономические данные в небольшое число безразмерных комплексов [1]. Для дозирования жидких компонентов кормовых смесей применяемые дозирующие устройства с одним и тем же целевым назначением, при неизменной подаче могут быть исполнены в различных вариантах за счёт изменения свободных параметров в процессе проектирования. Конечный выбор вариантов проектируемого объекта принимается на основе расчетов по оптимизации. Эти расчёты сводятся к определению минимума удельных затрат [2].

Схема насоса-дозатора перистальтического действия представлена на рисунке 1. Этот насос-дозатор работает следующим образом. На роторе насоса-дозатора закреплены две группы роликов или по одному с каждой стороны. Ролики закреплены симметрично, относительно оси статора и контактируют с параллельно-уложенными резиновыми оболочками внутри статора насоса-дозатора. При вращении ротора насоса, ролики, передавливая оболочку и перекачиваясь по ней, выдавливают дозируемый материал и создают разрежение на всасывающих концах оболочки, обеспечивая поступление дозируемого материала в насос-дозатор. На концах оболочек закреплены штуцеры крепления к технологическим трубопроводам. Для обеспечения устойчивой работы насоса-дозатора ролики подпружинены.

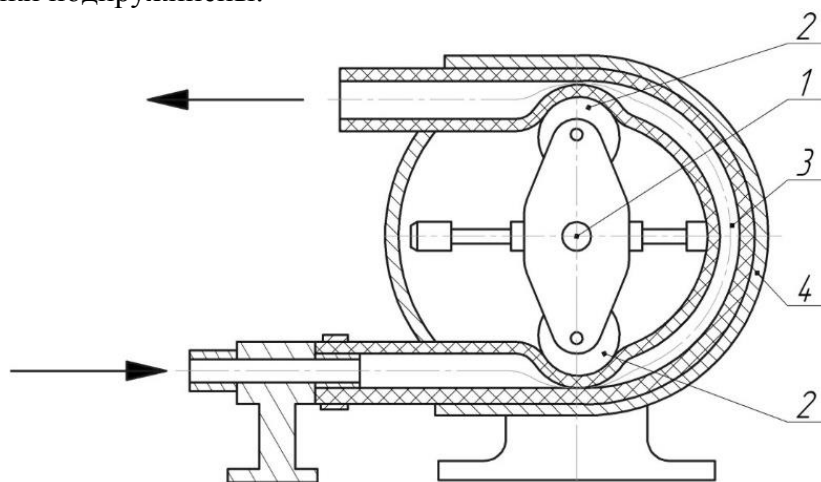


Рисунок 1 – Схема ротационного насоса-дозатора перистальтического действия:
1 – ротор; 2 – ролики; 3 – шланг; 4 – статор

Ротационные шланговые насосы-дозаторы могут работать без смазки основных рабочих органов, у них опосредованная зависимость производительности от износа

комплектующих деталей и отсутствуют перетечки материала в полости шланга, имеют хорошие сравнительные шумовые характеристики. Применение перистальтических насосов-дозаторов в линиях производства кормовых смесей позволяет обеспечить не только точное и эффективное дозирование жидких компонентов смеси, но и их перекачку в пределах кормоприготовительных цехов [3, 6, 8].

При постоянной производительности насоса-дозатора его габаритные размеры, как и типоразмер электрического двигателя находятся в зависимости от частоты вращения ротора, и, в связи с тем, что границы её варьирования всё ещё широки [2], то исходным свободным параметром системы может быть частота вращения ротора насоса-дозатора. При этом практически одинаковыми остаются затраты на приборы контроля, смазочные материалы, арматуру и эксплуатационные затраты в оптимизируемом и базовом вариантах насоса-дозатора. Приведенные затраты на дозирующее устройство определяются выражением [4]:

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{н}} + Z_{\text{дв}} + Z_{\text{см}} + Z_{\text{кип}} + Z_{\text{арм}} + Z_{\text{экс}}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{н}}$ – затраты на насос-дозатор; $Z_{\text{дв}}$ – затраты на двигатель; $Z_{\text{см}}$ – затраты на смазочные материалы; $Z_{\text{кип}}$ – затраты на приборы контроля и средства автоматизации дозирующего устройства; $Z_{\text{арм}}$ – затраты на арматуру и электрическую сеть; $Z_{\text{экс}}$ – эксплуатационные затраты.

Затраты на насос-дозатор представляют собой сумму затрат на амортизацию и ремонт его, а также технологические затраты, связанные с затратами на износ:

$$Z_{\text{н}} = (Z_{\text{а}} + Z_{\text{р}})_{\text{н}} + Z_{\text{изн}}, \quad (2)$$

где $(Z_{\text{а}} + Z_{\text{р}})_{\text{н}}$ – затраты на амортизацию и ремонт насоса-дозатора; $Z_{\text{изн}}$ – стоимость дополнительного износа деталей насоса-дозатора.

Затраты на амортизацию и ремонт насоса-дозатора:

$$(Z_{\text{а}} + Z_{\text{р}}) = (a + r)(1 + a_{\text{м}})K_{\text{н}}, \quad (3)$$

где a , r – коэффициенты амортизационных и ремонтных отчислений; $a_{\text{м}}$ – коэффициент отчислений на монтаж насоса-дозатора; $K_{\text{н}}$ – капитальные вложения на насос-дозатор.

Проведённый анализ прейскурантных цен на насосы-дозаторы показывает, что капитальные вложения на него могут быть представлены в виде следующей эмпирической зависимости:

$$K_{\text{н}} = a_0 V_{\text{ш}}, \quad (4)$$

где a_0 – стоимостной показатель; $V_{\text{ш}}$ – вместимость рабочей полости эластичной оболочки насоса-дозатора (его шлангов).

Однако вместимость рабочей полости эластичной оболочки насоса находится в обратной зависимости от частоты вращения ротора:

$$V_{\text{ш}} = a_1 + v_1 n, \quad (5)$$

где a_1 , v_1 – стоимостные показатели; n – частота вращения ротора насоса-дозатора.

Тогда:

$$K_{\text{н}} = a_0 (a_1 + v_1) n, \quad (6)$$

а технологические затраты на насос-дозатор:

$$(Z_a + Z_p)_H = (a + r)(a_m + 1)a_0(a_1 + v_1)n. \quad (7)$$

Относительные затраты на насос-дозатор, согласно [1], равны:

$$\delta(Z_a + Z_p)_H = \delta n_1 A'_H, \quad (8)$$

где δn_1 – относительное изменение частоты вращения ротора насоса-дозатора; $\delta n_1 = n/n' - 1$, A'_H – локальный коэффициент базовой точки; $A'_H = (1 + a_1/v_1 n')^{-1}$, здесь n и n' – частоты вращения в оптимизируемом и базовом дозаторе.

При форсировании насоса-дозатора связанные с износом его деталей затраты зависят от частоты вращения ротора и могут быть представлены эмпирической зависимостью:

$$Z_{изн} = v_2 n^{3/2}, \quad (9)$$

где v_2 – стоимостной коэффициент.

Относительное изменение затрат, связанное с износом деталей насоса-дозатора, будет:

$$\delta Z_{изн} = \delta n_1^{3/2} = \left(\frac{n}{n'}\right)^{3/2} - 1. \quad (10)$$

Затраты на электродвигатель и передаточный механизм:

$$Z_{дв} = (a + r)(1 + a_m)K_{дв}, \quad (11)$$

где $K_{дв}$ – капвложения на электродвигатель и передачу.

Из анализа прейскурантных цен на электрические двигатели и клиноременные передачи следует, что:

$$K_{дв} = a_3 + v_3 C n^{-3}, \quad (12)$$

где a_3 и v_3 – стоимостные коэффициенты; N – мощность электрического двигателя; C – ценовой показатель мощности.

Тогда относительное изменение затрат на двигатель с учётом изменения затрат на клиноременную передачу будет:

$$\delta Z_{дв} = \delta n_1^{-3} A'_{дв}, \quad (13)$$

где $\delta n_1^{-3} = (n/n')^{-3} - 1$; $A'_{дв}$ – базовый коэффициент:

$$A'_{дв} = \left[1 + \frac{a_3}{v_3 (n')^{-3}}\right]^{-1}. \quad (14)$$

Следовательно, относительное изменение затрат на дозирующее устройство будет складываться из суммы выражений (8), (10), (13):

$$\delta Z = \delta n_1 A'_H + \delta n_1^{3/2} v'_2 + \delta n_1^{-3} A'_{дв}. \quad (15)$$

Разделив каждый член выражения (15) на базовый коэффициент A'_H , получим обобщенную целевую функцию:

$$y_1 = \delta n_1 + \delta n_1^{3/2} v'_2 + \delta n_1^{-3} v'_3, \quad (16)$$

где v'_2 и v'_3 – обобщенные базовые экономические коэффициенты,

$$v'_2 = \frac{1}{A'_H}; \quad v'_3 = \frac{A'_{дв}}{A'_H}. \quad (17)$$

Для решения целевой функции (17) использован графоаналитический метод. Обозначив $\delta n_1 = \delta f_1$; $\delta n_1^{3/2} = \delta f_2$; $\delta n_1^{-3} = \delta f_3$, построили графики изменения этих функций в зависимости от δn (рисунок 2).

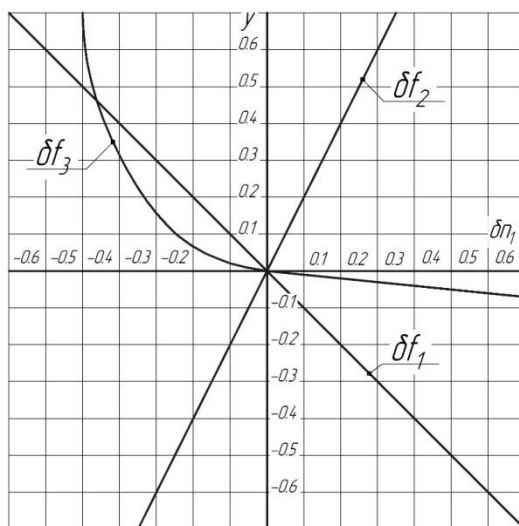


Рисунок 2 – Графики изменения функций от изменения частоты вращения ротора насоса-дозатора

Результаты и обсуждение. Обзором и анализом преysкурантных цен и данных изменения затрат на износ деталей насосов-дозаторов в связи с их форсированием предложены коэффициенты для базовой модели насоса с подачей 3 м³/ч и частотой вращения $n = 550 \text{ мин}^{-1}$: $A'_H = +0,72$; $A'_{дв} = -0,039$. Следовательно, $v'_1 = -1$; $v'_2 = 1,39$; $v'_3 = 0,054$.

Учитывая эти данные, представим целевую функцию в следующем виде

$$y = -\delta f_1 + 1,39\delta f_2 + 0,054\delta f_3. \quad (18)$$

Построим диаграмму изменения (y) функции δn_1 (рисунок 3) и, определив направление $n_{\text{лост}}$, получим точку минимума кривой $y = \delta n_1$ при $\delta n_{\text{лост}} = -0,15$. По этим данным оптимальной частотой вращения ротора насоса-дозатора является $n_{\text{опт}} = n' n_{\text{лост}} = 550 \times 0,85 = 470 \text{ мин}^{-1}$.

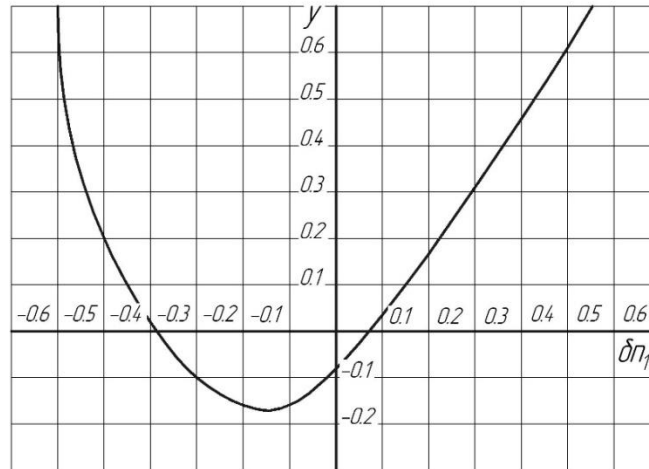


Рисунок 3 – График изменения целевой функции

Заключение. Последовавшие за этим эксперименты по определению эффективности работы такого дозатора подтвердили теоретически обоснованные данные по оптимизации частоты вращения ротора насоса-дозатора жидких материалов [5, 7].

Библиографический список

1. Арсентьев Ю.Д. Инженерно-экономические расчеты в обобщенных переменных [Текст] / Ю.Д. Арсентьев. – М.: Высшая школа, 1979. – 215 с.
2. Глобин, А.Н. Дозаторы [Текст]: монография / А.Н. Глобин, И.Н. Краснов. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2016. – 384 с.
3. Глобин, А.Н. Дозаторы [Текст]: монография / А.Н. Глобин, И.Н. Краснов / ФГБОУ ВПО АЧГАА. – Зерноград, 2012. – 348 с.
4. Глобин, А.Н. Определение производительности и затрат мощности вакуумного насоса шлангового типа [Текст] / А.Н. Глобин, Р.В. Копица, И.Н. Шелковый // Вестник МичГАУ. – 2011. – №. – С. 170-172.
5. Глобин, А.Н. Пути совершенствования дозирующих устройств [Текст] / А.Н. Глобин // Совершенствование технологических процессов и технических средств в АПК: сб. научн. тр. АЧГАА. – Зерноград, 2009. – С. 5-6.
6. Объемный насос [Текст]: патент 2131539 Российская Федерация, МПК F04C5/00. / Глобин А.Н., Краснов И.Н.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия». – № 97115392; заявл. 22.08.97; опубл. 10.06.1999.
7. Производство комбикормов в условиях личных подсобных и фермерских хозяйств [Текст] / И.Н. Краснов, В.М. Филин, А.Н. Глобин, Е.А. Ладыгин. – Саратов, 2017. – 226 с.
8. Ротационный вакуумный насос шлангового типа [Текст]: патент 88748 Российская Федерация, МПК F04C 5/00. / Глобин А.Н., Краснов И.Н., Удовкин А.И., Тюрин А.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия». – № 2009124386/22; заявл. 25.06.2009; опубл. 20.11.2009.

Reference

1. Arsent'ev Yu. D. Inzhenerno-jekonomicheskie raschety v obobschennyh premennyh [Tekst] / Yu. D. Arsent'ev. - M.: Vysshaya shkola, 1979. - 215 s.
2. Globin, A. N. Dozatory [Tekst]: monografiya/ A. N. Globin, I. N. Krasnov. - M. -- Berlin: Direkt-Media, 2016. - 384 s.
3. Globin, A. N. Dozatory [Tekst]: monografiya / A. N. Globin, I. N. Krasnov / FGBOU VPO AChGAA. - Zernograd, 2012. - 348 s.

4. Globin, A. N. Opredelenie proizvoditel'nosti i zatrat moschnosti vakuumnogo nasosa shlangovogo tipa [Tekst] / A. N. Globin, R. V. Kopica, I. N. Shelkovyj // Vestnik MichGAU. - 2011. - №. - S. 170-172.

5. Globin, A. N. Puti sovershenstvovaniya doziruyuschih ustrojstv [Tekst] / A. N. Globin // Sovershenstvovanie tehnologicheskikh processov i tehnicheskikh sredstv v APK: sb. nauchn. tr. AChGAA. - Zernograd, 2009. - S. 5-6.

6. Ob'emnyj nasos [Tekst]: patent 2131539 Rossijskaya Federaciya, MPK F04C5/00. / Globin A. N., Krasnov I. N.; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya". - № 97115392; zayavl. 22.08.97; opubl. 10.06.1999.

7. Proizvodstvo kombikormov v usloviyah lichnyh podsobnyh i fermerskih hozyajstv [Tekst] / I. N. Krasnov, V. M. Filin, A. N. Globin, E. A. Ladygin. - Saratov, 2017. - 226 s.

8. Rotacionnyj vakuumnij nasos shlangovogo tipa [Tekst]: patent 88748 Rossijskaya Federaciya, MPK F04C 5/00. / Globin A. N., Krasnov I. N., Udovkin A. I., Tyurin A. V.; zayavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO "Azovo-Chernomorskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya". - № 2009124386/22; zayavl. 25.06.2009; opubl. 20.11.2009.

E-mail: etsh1965@mail.ru