

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ПЛАСТИН РОТАЦІЙНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

Дудін В.Ю., канд. техн. наук

*(Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)*

*В роботі проведено теоретичні дослідження умов роботи в спряженні «пластина-статор» ротаційного вакуумного насоса. Обґрунтовано вибір матеріалу пластин за умови забезпечення роботи насоса без змащення.*

**Постановка проблеми.** Проведені раніше дослідження ротаційного пластинчатого вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки дозволили визначити його оптимальні конструкційні та технологічні параметри [1, 2, 3]. Під час проектування та конструювання вакуумних насосів виникає необхідність в обґрунтованому виборі матеріалу пластин, що особливо актуально для машин, які працюють без змащення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш навантаженими деталями вакуумних пластинчатих насосів є пластини. Залежно від розмірів насоса, перепаду тиску, матеріалу пластин, способу змащення і охолодження ставлять від 2 до 30 пластин. Змащення зменшує тертя пластин по статору, а його відсутність викликає посилене зношування пластин і корпусу насоса.

Суттєвий внесок в дослідження робочого процесу пластинчатих ротаційних вакуумних насосів внесли М.І. Мжельський, В.А. Стремнін, В.І. Хлумський, Л.П. Карташов, В.Ф. Корольов, Л.Н. Розанов, Е.С. Фролов та інші.

Недоліки цього типу машин обумовлюються, зокрема, недосконалістю конструкції, обмеженнями, які накладаються використанням традиційних матеріалів. Так використання нових полімерних композиційних матеріалів в якості конструкційних для виготовлення пластин насоса, дозволяє не лише уникнути необхідності змащення робочих поверхонь, а й зняти обмеження на припустимому швидкості руху пластини по поверхні статора.

**Мета роботи** - обґрунтувати вибір матеріалу пластин ротаційного вакуумного насоса за умови забезпечення роботи без змащення.

**Основні результати дослідження.** Для обґрунтованого вибору матеріалу пластини з точки зору умов роботи в парі тертя краще використати питому характеристику її роботи – критерій дієздатності матеріалу  $PV$  – добуток тиску в парі на швидкість ковзання пластини по статору:

$$PV = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot R_u}{S_k} V = \frac{1 \cdot 10^6 \cdot R_u}{L \cdot d} V, \quad (1)$$

де  $d$  – ширина зони контакту, м;  $L$  – довжина зони контакту, м;  $S_k$  – площа зони контакту, м<sup>2</sup>;  $R_u$  – сила реакції статора на пластину, Н;  $V$  – швидкість ковзання пластини по статору, м/с.

Залежність значення  $R_{ц}$  від кута повороту ротора для досліджуваного насоса визначено в [3]:

$$R_{ц} = \frac{P_{ц} \cos \beta + P_{нл} \pm (P_{к} + P_{\Delta p} + P_{ц} \sin \beta) \frac{\mu_p s}{h-s}}{\cos \lambda + \mu_p \sin \lambda \frac{h+s}{h-s}}, \quad (2)$$

де  $P_{ц} = m\omega^2(\rho - h/2)$  – відцентрова складова сили, пропорційна прискоренню при обертальному русі, Н;  $P_{нл} = m d^2 \rho / dt^2$  – складова сили, пропорційна прискоренню при зворотно-поступальному русі пластини в пазу ротора, Н;  $P_{к} = 2m\omega d\rho/dt$  – Коріолісова сила, Н;  $m$  – маса пластини, кг;  $\rho - h/2$  – поточний радіус-вектор центра мас пластини, м;  $d\rho/dt$  – відносна швидкість пластини при обертальному русі, м/с;  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $c^{-1}$ ;  $h$  – висота пластини, м;  $\mu_p$  – коефіцієнт тертя пластини по поверхні пазу ротора;  $s = -r \cos \psi + \sqrt{(r \cos \psi)^2 + \rho^2 - r^2}$  – довжина вильоту пластини, м;  $r$  – радіус ротора, м;  $\psi$  – кут нахилу пластин;  $\lambda = \arcsin(r \sin \psi / \rho)$ ,  $\beta = \arcsin\left(r \sin \psi / \sqrt{\rho^2 + h^2/4 - \rho h \sqrt{1 - r^2 \sin^2 \psi / \rho^2}}\right)$  – допоміжні кути.

Для розрахунку характеристики  $PV$  знайдемо швидкість ковзання пластини по статору. Для цього розглянемо складний поступально-обертальний рух пластини вакуумного насоса (рис. 1). Нормальна швидкість руху пластини відносно ротора [4]:

$$V_n = -\frac{\rho}{\sqrt{\rho^2 - e^2}} \cdot e\omega \sin \varphi [1 + \lambda \cos \varphi], \quad (3)$$

де  $\rho$  – поточний радіус-вектор руху точки контакту з статором, м;  $\lambda$  – відносний ексцентриситет;  $e$  – ексцентриситет, м;  $\omega$  – кутова швидкість обертання ротора,  $c^{-1}$ ;  $\varphi$  – кут повороту ротора.

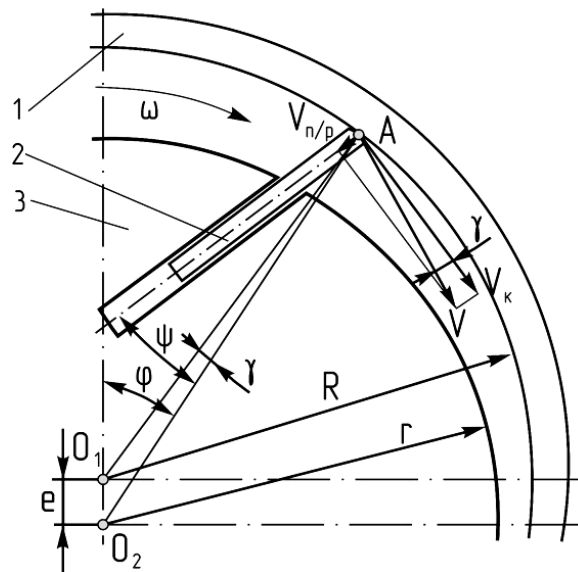


Рисунок 1 – Схема до визначення швидкостей в точці контакту пластини зі статором: 1 – статор; 2 – пластини; 3 – ротор

Поточний радіус-вектор  $\rho$  руху точки контакту зі статором можна визначити як:

$$\rho = R \left[ 1 + \lambda \cos \varphi - \frac{\lambda^2}{2} \sin^2 \varphi \right], \quad (4)$$

де  $R$  – радіус статора, м.

Відносний ексцентриситет  $\lambda$  дорівнює:

$$\lambda = \frac{e}{R}, \quad (5)$$

Колова швидкість руху точки контакту пластини зі статором:

$$V_k = \omega \rho, \quad (6)$$

Враховуючи вирази (3-5) визначимо повну швидкість руху точки контакту пластини зі статором:

$$V = \frac{\cos \psi}{\cos(\psi \pm \gamma)} \sqrt{V_n^2 + V_k^2}, \quad (7)$$

де кут  $\gamma$  (рис. 1) змінюється зі зміною кута  $\varphi$  і визначається з виразу:

$$\gamma = \arcsin(\lambda \sin \varphi), \quad (8)$$

У рівнянні **Ошибка! Источник ссылки не найден.**(7) знак мінус для кута  $\gamma$  відповідає стороні стиску, а плюс – всмоктування.

З залежності, приведеної на рисунку 2 видно, що максимального значення 9,83 м/с швидкість  $V$  набуває при значенні кута повороту ротора  $217,5^\circ$ , який знаходиться на боці всмоктування.

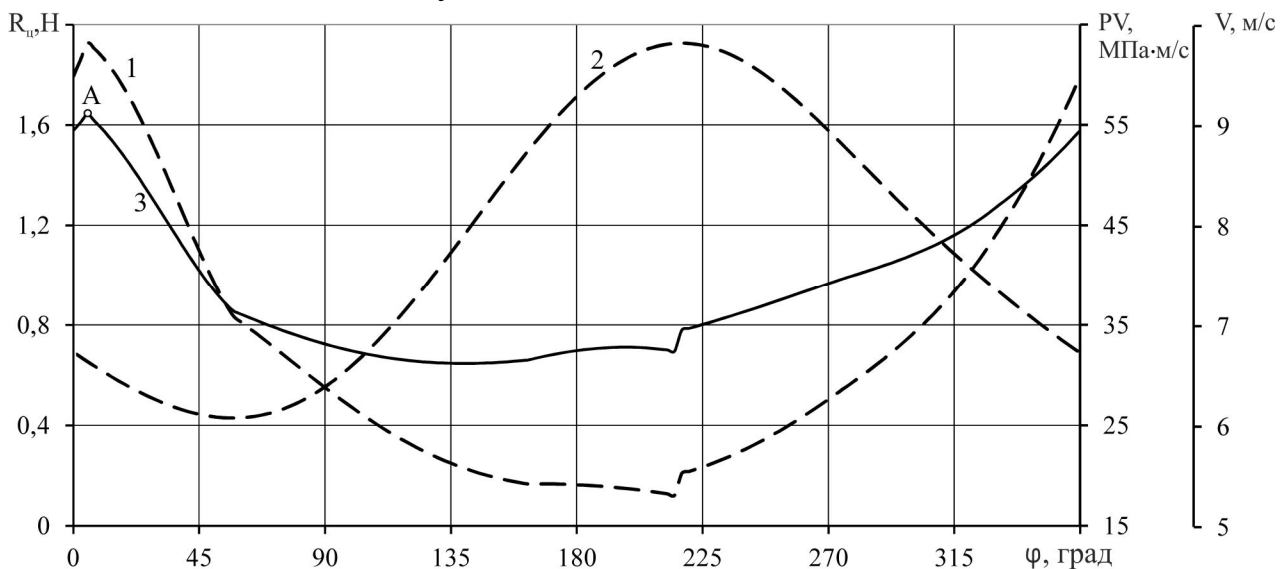


Рисунок 2 - Залежність реакції  $R_{ц}$  (1), швидкість руху (2) та показника  $PV$  (3) в точці контакту пластини зі статором від кута повороту ротора

Реакція статора на пластину  $R_{ц}$ , яка визначена з рівняння (2) набуває максимального значення 63,2 Н (рис. 2), яка характеризує момент роз'єднання ро-

бочої камери з всмоктувальним вікном. Прораховані з використанням раніше визначеної сили  $R_{ц}$  та швидкості  $V$  значення  $PV$  згідно з виразом (1) приведені на рисунку 2. При цьому максимальне значення  $PV$  – в точці  $A$ , яка відповідає значенню  $1,62$  МПа·м/с.

Крім визначених вище кінематичних параметрів під час вибору матеріалу необхідно також враховувати температурний режим роботи спряження «пластина – статор». Враховуючи те, що робочі температури насосів, які працюють зі змащенням сягають  $80-90^{\circ}$  С, доцільно обирати матеріал, який має високі характеристики по теплостійкості. До таких матеріалів можна віднести пресовані графіти, антифрикційні полімерні композиції на основі фторопласту 4 та ароматичного поліаміду фенілон С-2 [5]. Перші два, поряд з високими трибологічними характеристиками, відрізняються низькою міцністю та не можуть працювати в умовах нерівномірних навантажень. Що стосується останнього, то маючи унікальні фізико-механічні властивості, він є досить дорогим. Крім того, композиції на основі фенілону мають дуже складну технологію приготування та переробки, тому малопридатні до масового або серійного виробництва. Найближчим за характеристиками є вуглепластик на основі фенол-формальдегідної смоли ЛБС-1, армованої вуглецевим волокном. Недоліком даного матеріалу є досить високий коефіцієнт тертя при роботі без змащення – до  $0,35$ . Тому до використання в досліджуваному насосі запропоновано новий матеріал, до складу якого додатково входить термічно-розщеплений графіт [6]. Як показали результати досліджень [7], прогнозований ресурс роботи пластин з експериментального матеріалу складе близько  $10000$  годин.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень отримано залежність критерію дієздатності матеріалу  $PV$  від кута повороту ротора, при цьому його максимальне значення склало  $1,62$  МПа·м/с. Вибрано матеріал для виготовлення пластин, а саме вуглепластик на основі фенол-формальдегідної смоли ЛБС-1, з додаванням термічно-розщепленого графіту.

## Список літератури

1. Павленко С.І. Оптимізація конструктивно-режимних параметрів ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Ін-т мех. тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – № 1(7). – С. 240-252. – ISSN 2075-1591.

2. Дудін В.Ю./ Розгорнута індикаторна діаграма ротаційного пластинчатого вакуумного насоса/ В.Ю. Дудін// Вісник ХНТУСГ ім. П.Василенка. Випуск 144. «Технічні системи і технології тваринництва» - Харків: ХНТУСГ, 2014. – С. 111 – 117.

3. Павленко С.І. Дослідження умов роботи в спряжені пластина-статор ротаційного вакуумного насоса індивідуальної доїльної установки / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, Е.Б. Алієв, // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. - К., 2012. - Вип. 170, ч.1, - С.169-180.

4. Мжельский Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок / Н.И. Мжельский – М.: Машиностроение, 1974. – 151 с.

5. Буря А.И. Свойства углепластиков и опыт их применения в машиностроении / А.И. Буря, А.Д. Деркач, В.Ю. Дудин // Международный технический журнал "Мир техники и технологий". – № 12. – 2002. – С. 30-31.

6. Пат. 47930 А Україна, МПК (2006) C08L 61/00, C08K 7/00, C08K 13/00, F16C 33/16 (2006.01). Полімерна композиція / О.І. Буря, В.Ю. Дудін, О.Д. Деркач, Ю.П. Фесенко, В.М. Прокоп'єв; заявник і патентовласник О.І. Буря, Ю.П. Фесенко, В.М. Прокоп'єв. – № 2001 117715; заявл. 15.07.2002; опублік. 15.07.2002, Бюл. №7, 2002 р.

7. Дудін В.Ю. Підвищення надійності ротаційного пластинчатого вакуумного насоса індивідуальних доїльних установок / В.Ю. Дудін // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки – Вінниця, 2014. – випуск 1 (84) – с. 93-97.

## **Аннотация**

### **Выбор материала пластин ротационного вакуумного насоса**

Дудін В.Ю.

*В работе проведены теоретические исследования условий работы в сопряжении «пластина-статор» ротационного вакуумного насоса. Обоснован выбор материала пластин при условии обеспечения работы насоса без смазки.*

## **Abstract**

### **The choice of vanes material of rotary vacuum pump**

**V. Dudin**

*In the work carried out theoretical studies of working conditions in the pair “plate-stator” rotary vacuum pump. The choice of the material of the vanes with the pump operation without lubrication.*