

РОЗГОРНУТА ІНДИКАТОРНА ДІАГРАМА РОТАЦІЙНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА

Дудін В.Ю., ст. викл.

(Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет)

Метою роботи були теоретичні та експериментальні дослідження фаз розподілу повітря дійсного вакуумного насоса і зняття його індикаторної діаграми. Для насоса індивідуальної доїльної установки побудовано розгорнуту по куту повороту теоретичну індикаторну діаграму робочої камери. Реалізовано конструкцію експериментального стенду та отримані за його допомогою залежності зміни вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора на різних режимах. Проведене співставлення теоретичних та експериментальних даних підтверджує запропоновану теоретичну модель фаз розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса.

Постановка проблеми. Ротаційні пластинчаті вакуумні насоси знайшли широке використання в складі вакуумних систем доїльних установок. Поруч із потужними агрегатами, які обслуговують великі підприємства з виробництва молока, дана конструкція застосовується і в індивідуальних доїльних установках, призначених для малих приватних ферм. При цьому питомі показники ефективності роботи ротаційних вакуумних машин – коефіцієнт відкачування та питома енергоємність залишаються на досить низькому рівні. Основним параметром, що закладаються на стадії розробки насоса, який суттєво впливає на вказані показники, є фази розподілу повітря. Невірно обрані фази розподілу повітря, а це форма та розташування вікон, негативно впливають на робочий процес насоса, його зовнішні характеристики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для оцінки досконалості конструкції ротаційних машин рядом авторів, наприклад А. Г. Головинцевим, В. А. Румянцевим, В. І. Ардашевим, використовуються поняття дійсного, теоретичного та ідеального ротаційних компресорів. У дійсних ротаційних машинах робочий процес залежить від витікань, теплообміну, гідравлічних втрат, защемлень газу і т. п. Теоретичним вважають компресор, повністю ідентичний з дійсним, але відмінний від останнього відсутністю зазорів між основними робочими частинами. Ідеальним називають компресор без защемлених об'ємів, без витікань, без втрат тиску в органах розподілу при всмоктуванні і нагнітанні. З урахуванням цих понять розглянемо робочий процес ротаційного пластинчастого вакуумного насоса. На сьогодні в більшості своїй в доїльних установках застосовуються ротаційні вакуумні насоси, які виконують із невеликою кількістю пластин (до чотирьох). У цих конструкціях, внаслідок значного перепаду тисків в суміжних робочих камерах, виникають великі втрати від перетікань газу. Перетікання збільшуються, якщо дійсний

режим вакуумного насоса не відповідає розрахунковому, тобто високий коефіцієнт відкачування та низька енергоємність забезпечуються лише тоді, коли дійсна індикаторна діаграма наближена до розрахункової, що в свою чергу залежить від правильного визначення фаз розподілу повітря. Таким чином, дійсна індикаторна діаграма ротаційного вакуумного насоса визначає ступінь досконалості його конструкції. В роботах М.І. Мжельського, Е.С. Фролова, В.П. Плотникова також не приводяться дійсні індикаторні діаграми ротаційних вакуумних насосів.

У зв'язку із цим **метою роботи** були теоретичні та експериментальні дослідження фаз розподілу повітря дійсного вакуумного насоса і зняття його індикаторної діаграми.

Основні результати дослідження. Згідно [1, 2] початок фаз всмоктування та нагнітання визначається з умови рівності тисків в робочій камері та відповідному вікні в момент їх з'єднання. Закінчення зазначених фаз повинно відбуватися в момент, коли об'єм робочої камери набуває максимального (всмоктування) та мінімального (нагнітання) значень. Виходячи з цього, правильний вибір положення кромки всмоктувального та нагнітального вікон, в першу чергу залежить від правильного визначення динаміки зміни об'єму робочої камери насоса та тиску в ній в залежності від кута повороту ротора.

Використовуючи методику визначення зміни площі перерізу робочої камери, викладену в [3,4] та враховуючи дані [5], які свідчать про те, що:

$$P_{\varphi} = P_{\text{ст}} \cdot \left(\frac{S_{\text{max}}}{S_{\varphi}} \right)^{\gamma}, \quad (1)$$

де $P_{\text{ст}}$ – тиск газу на початку стиску, приймається рівним тиску всмоктування, кПа;

S_{max} – максимальна площа перерізу робочої камери, м²;

S_{φ} – площа перерізу робочої камери при куті повороту φ , м²;

γ – показник політропи.

Для насоса індивідуальної доільної установки з діаметром статора $D = 0,105$ м та розмірами інших формуючих елементів робочої камери: діаметр ротора $d = 0,088$ м, ширина пластини $L = 0,085$ м та кутом нахилу пластин 45° [4] було побудовано залежність $P = P(\varphi)$, або розгорнута по куту повороту теоретичну індикаторну діаграму робочої камери насоса (рис. 1) з розрахунку створення ним вакуумметричного тиску 70 кПа.

Приведена на рисунку 1 залежність зміни тиску в робочій камері дозволяє стверджувати, що її з'єднання з нагнітаючим вікном (точка А) повинно відбуватися при значенні кута 76° , а початок всмоктування – $187,4^{\circ}$ (точка В). Момент роз'єднання робочої камери з нагнітаючим вікном буде відповідати куту повороту ротора $222,5^{\circ}$, при якому відбувається повний перехід робочої камери з боку стиску на бік всмоктування (точка Г на рис. 1). Точка Б характеризує момент переходу першої по ходу обертання пластини зі сторони

нагнітання на сторону всмоктування (проходження точки найменшого радіального зазору між ротором і статором), тобто розділення робочої камери на дві частини. При цьому в першій половині камери (відрізок Б-В-Д) вакууметричний тиск збільшується, а в другій тиск рівний тиску нагнітання (відрізок Б-Г). Точка Е відповідає куту повороту ротора $347,3^\circ$, при якому об'єм робочої камери набуває найбільшого значення і відбувається її від'єднання від всмоктувального вікна.

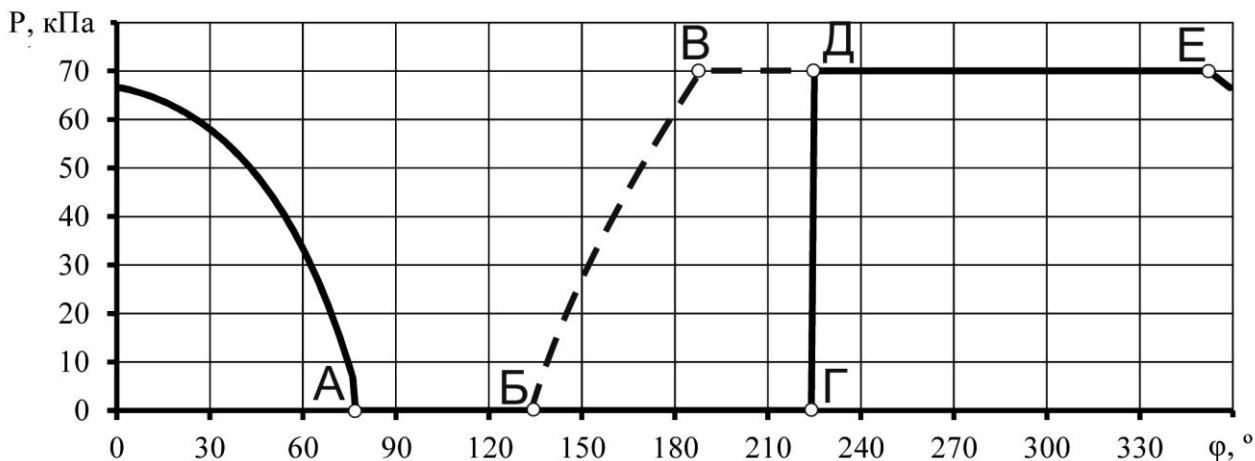


Рисунок 1 - Розгорнута по куту повороту теоретична індикаторну діаграму робочої камери насоса: А – початок нагнітання; Б – розділення робочої камери; В – з'єднання півкамери з всмоктувальним вікном; Г – закінчення нагнітання; Д – початок всмоктування; Е - закінчення всмоктування.

Експериментальні дослідження вакуумного насоса проводили за допомогою стенду принципова схема та загальний вигляд якого приведено на рисунку 2.

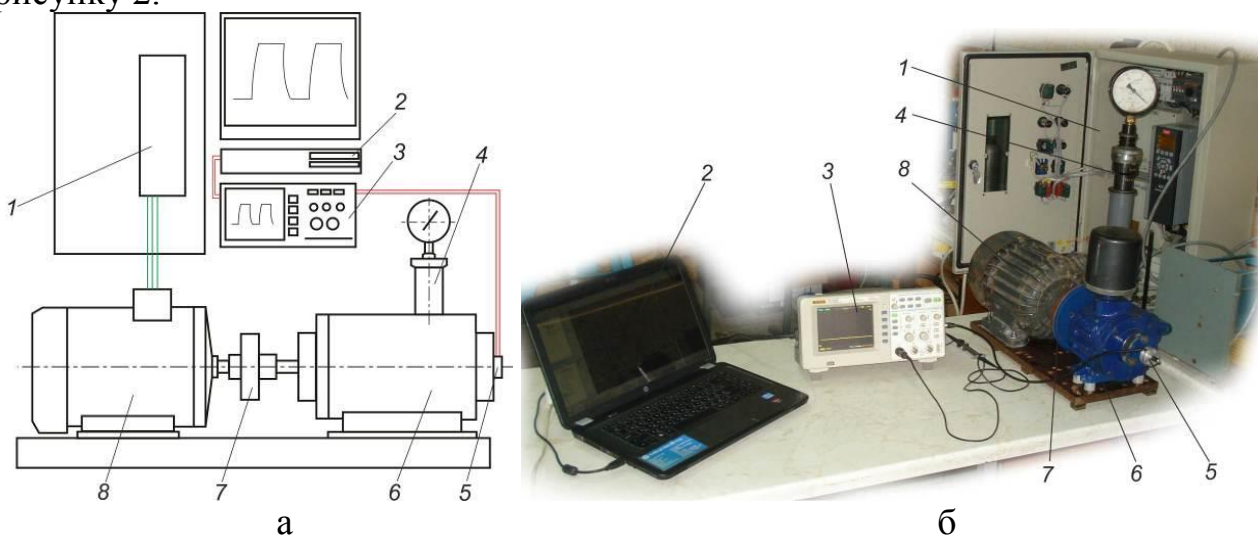


Рисунок 2 - Принципова схема (а) та загальний вигляд (б) стенду для досліджень фаз розподілу повітря експериментального вакуумного насоса: 1 - частотний регулятор Danfos; 2 - системний блок ПЕОМ; 3 – цифровий осцилограф Rigol DS1022C; 4 - витратомір КИ-4840М; 5 – датчик тиску MPX5100; 6 - експериментальний вакуумнасос; 8 - електродвигун 4Д71В2СУ1.

Частоту обертання ротора насоса n змінювали за допомогою частотного регулятора Danfos; величину вакууму P встановлювали за допомогою витратоміру КИ-4840М. Значення вакуумметричного тиску знімали за допомогою датчика MPX5100, встановленого згідно схеми, приведений на рисунку 3. Отриманий сигнал фіксували осцилографом Rigol DS1022C з наступним записом отриманих даних на ПЕОМ (програмне забезпечення Ultrascope for DS1000).

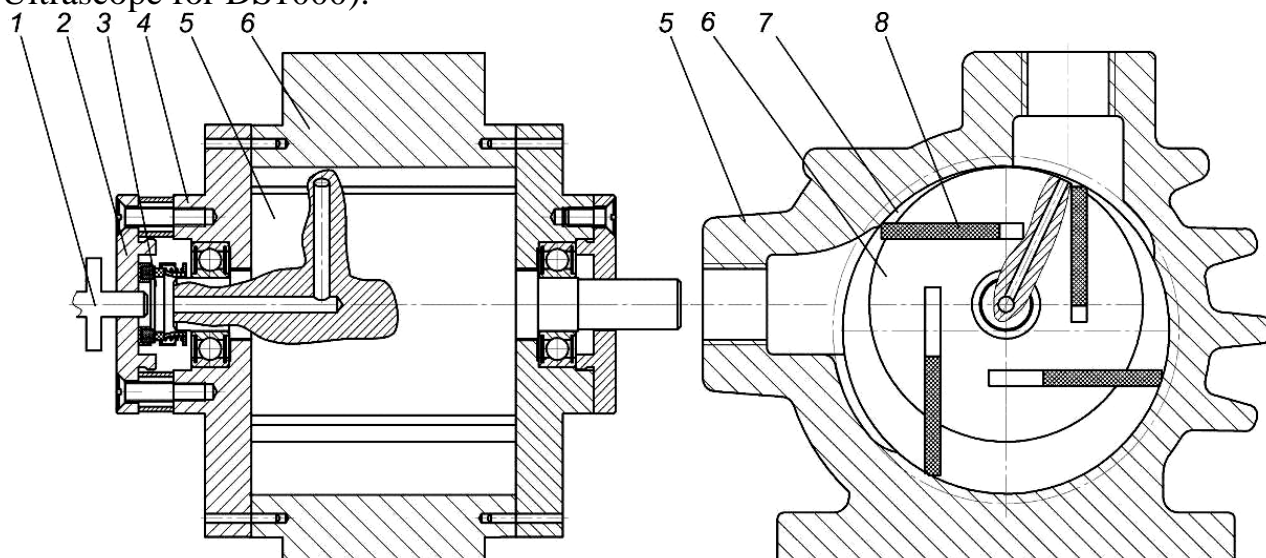


Рисунок 3 – Схема встановлення датчика тиску в експериментальному насосі: 1 - датчик тиску MPX5100; 2 – кришка підшипника; 3 – торцеве ущільнення; 4 – кришка насоса; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – робоча камера; 8 пластина.

Порожнина робочої камери насоса з'єднувалась з датчиком тиску за допомогою каналів в тілі ротора.

В результаті експериментальних досліджень фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса були отримані динамічні залежності (рис. 4), що характеризують зміну вакуумметричного тиску в робочій камері від кута повороту ротора (розгорнуті по куту повороту дійсні індикаторні діаграми) вакуумного насоса при різних частотах обертання ротора та значеннях вакуумметричного тиску у всмоктувальному вікні.

Аналіз експериментальних даних показує, що характер динамічного розподілу вакуумметричного тиску однаковий при будь-якій частоті обертання ротору та змінюється з однаковою періодичністю. Дане спостереження свідчить про стабільність роботи експериментального ротаційного пластинчатого вакуумного насоса на різних режимах.

Для ідентифікації теоретичної моделі фаз розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса побудовані експериментальні і теоретичні графіки розподілу вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора (рис. 5). При цьому експериментальні дані відповідали рівню вакуумметричного тиску прийнятому при розрахунках.

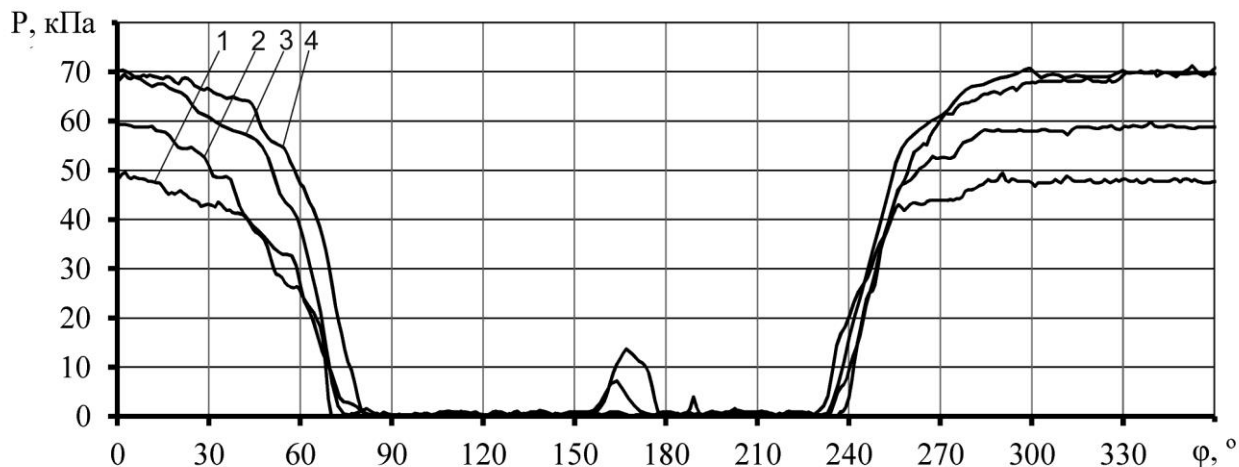


Рисунок 4 – Залежність зміни вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора при різних частотах його обертання n та значеннях вакуумметричного тиску у всмоктувальному вікні P : 1- $n=1000$ об/хв., $P=52,4$ кПа; 2 - $n=1500$ об/хв., $P=61,2$ кПа; 3 - $n=2000$ об/хв., $P=71,3$ кПа; 4 - $n=2200$ об/хв., $P=71,3$ кПа.

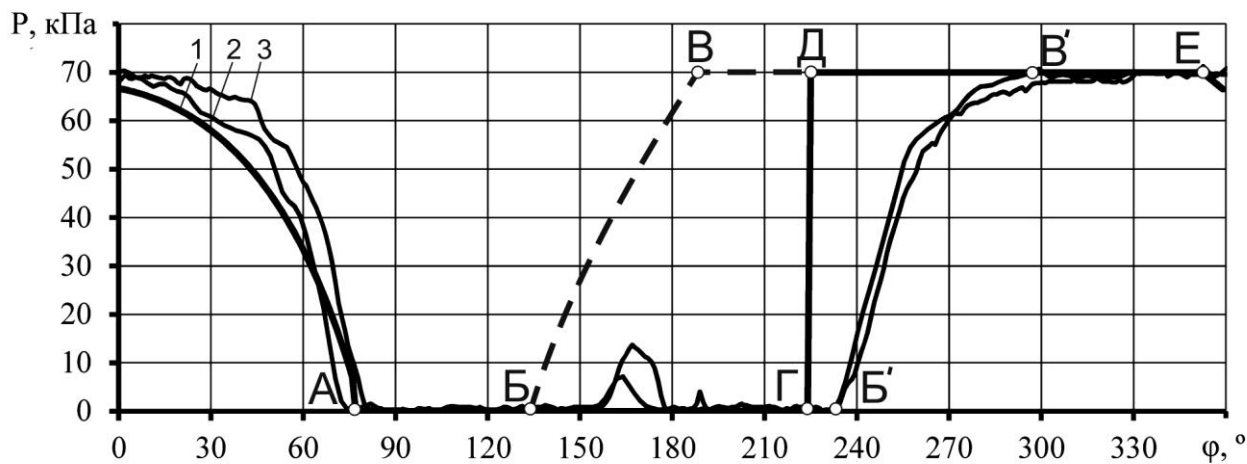


Рисунок 5 – Результати співставлення теоретичних (1) та експериментальних (2, 3) даних залежності зміни вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора

Аналізуючи графіки приведені на рис. 5, можна стверджувати, що на стороні стиску та нагнітання (відрізок Е-А-Б) відхилення експериментальних даних від отриманих теоретично досить не значне. На стороні всмоктування, яке починається після розділення камери (точка Б), спостерігається відхилення теоретичних та експериментальних даних, відрізок Б-В хоча за характером і відповідає відрізку Б'-В', але має зсув по куту ϕ . Це пояснюється тим, що канал датчика тиску (рис. 3) розміщено в задній, по ходу обертання ротора, частині камери, через це була відсутня можливість фіксування зміни вакуумметричного тиску в першій півкамері. Що стосується сплеску тиску на експериментальних кривих в діапазоні значень кута ϕ 160-180°, то його можна пояснити преретіканням повітря між півкамерами при збільшенні різниці тисків в них.

Загалом з отриманих даних можна стверджувати, що розрахований теоретично вакуумметричний тиск знаходиться у довірчому коридорі експериментальних досліджень. Кореляція теоретичних та експериментальних даних складає 0,89. Це дає змогу стверджувати, що теоретичне рівняння розподілу вакуумметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора є справедливим при будь-якому значенні частоти обертання ротора для заданого значення вакуумметричного тиску.

Висновки. В результаті експериментальних досліджень фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса були отримані динамічні залежності, що характеризують зміну вакуумметричного тиску від кута повороту ротора насоса при різних його частотах обертання. Згідно розрахованого коефіцієнту кореляції між теоретичними та експериментальними даними (0,89) підтверджено теоретичну модель фаз розподілу повітря ротаційного вакуумного насоса.

Список літератури

1. Механические вакуумные насосы / [Е. С. Фролов, И. В. Автономова, В.И. Васильев и др.] – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
2. Мжельский Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок / Н.И. Мжельский – М.: Машиностроение, 1974. – 151 с.
3. Павленко С.И. К вопросу определения фаз распределения воздуха ротационного вакуумного насоса с тангенциальным расположением лопаток / С.И. Павленко, Н.Н. Науменко, В.Ю. Дудин // Матер. Межд. науч.-практич. конф. “Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве”. – Минск, 2010. – Т. 2. – С. 107 – 112.
4. Обґрунтування окремих параметрів пластинчатих вакуумних насосів / С.І. Павленко, В.Ю. Дудін, М.В. Колончук, Д.Ф. Кольга // Геотехнічна механіка: міжвід. зб. наук. праць Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С.Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2008. – Вип. 75. – С. 258 – 268.
5. Хамеев В. М. Термодинамические процессы и параметрические характеристики вакуумных насосов / В. М. Хамеев – Новосибирск: Наука, 1986 – 75 с.

Аннотация

Развернутая индикаторная диаграмма ротационного пластинчатого вакуумного насоса

Дудин В.Ю.

Целью работы были теоретические и экспериментальные исследования фаз распределения воздуха действительного вакуумного насоса и снятие его индикаторной диаграммы. Для насоса индивидуальной доильной установки построена развернутую по углу поворота теоретическая индикаторная

диаграмма рабочей камеры. Реализована конструкция экспериментального стенда и получены с его помощью зависимости изменения вакуумметрического давления в рабочей камере насоса от угла поворота ротора на разных режимах. Проведенное сопоставление теоретических и экспериментальных данных подтверждает предложенную теоретическую модель фаз распределения воздуха ротационного вакуумного насоса.

Abstract

Deployed indicator diagram of rotary vane vacuum pump

V. Dudin

The purpose of work was theoretical and experimental studies of the phases of air distribution valid vacuum pump and removal of the indicator chart. For individual milking machine pump built deployed angle to the theoretical indicator diagram of the working chamber. Implemented the design of the experimental stand and received with its using the dependence of change of vacuum pressure in the working chamber pump turning angle of the rotor on the different modes. The comparison of theoretical and experimental data confirms the proposed theoretical model of the phases of air distribution rotary vacuum pump.