

УДК 637.116:621.51

**В.Ю. Дудін, доц., канд. техн. наук, О.І. Чухліб, магістрант**  
*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Дніпро*

## **Дослідження фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса**

В статті приведено результати теоретичних та експериментальних досліджень динаміки зміни вакууметричного тиску в робочій камері ротаційного пластинчатого вакуумного насоса з похилим розміщенням пластин. Отримані дані дають змогу уточнити методику вибору фаз розподілу повітря для вказаного типу насосів.

**ключові слова:** вакуум, ротаційний пластинчатий насос, фази розподілу повітря

**В.Ю. Дудин, доц., канд. техн. наук, А.І. Чухлиб, магистрант**  
*Днепровский государственный аграрно-экономический университет, Днепр*

## **Исследования фаз распределения воздуха ротационного пластинчатого вакуумного насоса**

В статье приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований динамики изменения вакууметрического давления в рабочей камере ротационного пластинчатого вакуумного насоса с наклонным расположением пластин. Полученные данные дают возможность уточнить методику выбора фаз распределения воздуха для указанного типа насосов.

**ключевые слова:** вакуум, ротационный пластинчатый насос, фазы распределения воздуха

**Постановка проблеми.** Завдяки простоті конструкції та обслуговування ротаційні пластинчаті вакуумні насоси знайшли широке застосування доільних установках різної потужності – від промислових до індивідуальних, призначених для малих приватних ферм. При цьому питомі показники ефективності роботи ротаційних вакуумних машин – коефіцієнт відкачування та питома енергоємність залишаються на досить низькому рівні. На вказані показники найбільш суттєво впливає такий конструкційний параметр як фази розподілу повітря - форма та розташування всмоктувального та нагнітального вікон.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для оцінки досконалості конструкції ротаційних машин рядом авторів [1, 2] 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, особливо для насосів, які працюють без змащення. 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 [3, 4] також не приводяться дійсні індикаторні діаграми ротаційних вакуумних насосів.

**Постановка завдання.** Метою роботи були теоретичні та експериментальні дослідження фаз розподілу повітря дійсного вакуумного насоса і зняття його індикаторної діаграми.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно [3, 4] 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 [5, 6] та враховуючи дані [7], які свідчать про те, що:

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

де  $P_{ст}$  – тиск газу на початку стиску, приймається рівним тиску всмоктування, кПа;  
 $S_{max}$  – максимальна площа перерізу робочої камери, м<sup>2</sup>;  
 $S_{\varphi}$  – площа перерізу робочої камери при куті повороту  $\varphi$ , м<sup>2</sup>;  
 $\gamma$  – показник політропи,

для насоса індивідуальної доїльної 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  $45^{\circ}$  [6] було побудовано залежність  $P = P(\varphi)$ , або розгорнуту по куту повороту теоретичну індикаторну діаграму робочої камери насоса (рис. 1) з розрахунку створення ним вакуумметричного тиску 70 кПа.

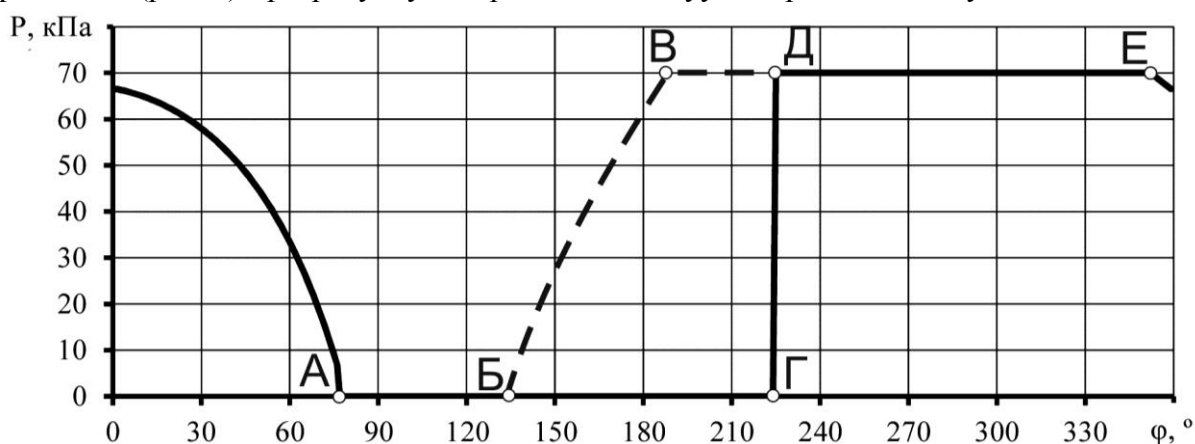


Рисунок 1 - Розгорнута по куту повороту теоретична індикаторна діаграма робочої камери насоса: А – початок нагнітання; Б – розділення робочої камери; В – з'єднання півкамери з всмоктувальним вікном; Г – закінчення нагнітання; Д – початок всмоктування; Е - закінчення всмоктування

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  $76^\circ$ , 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.

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

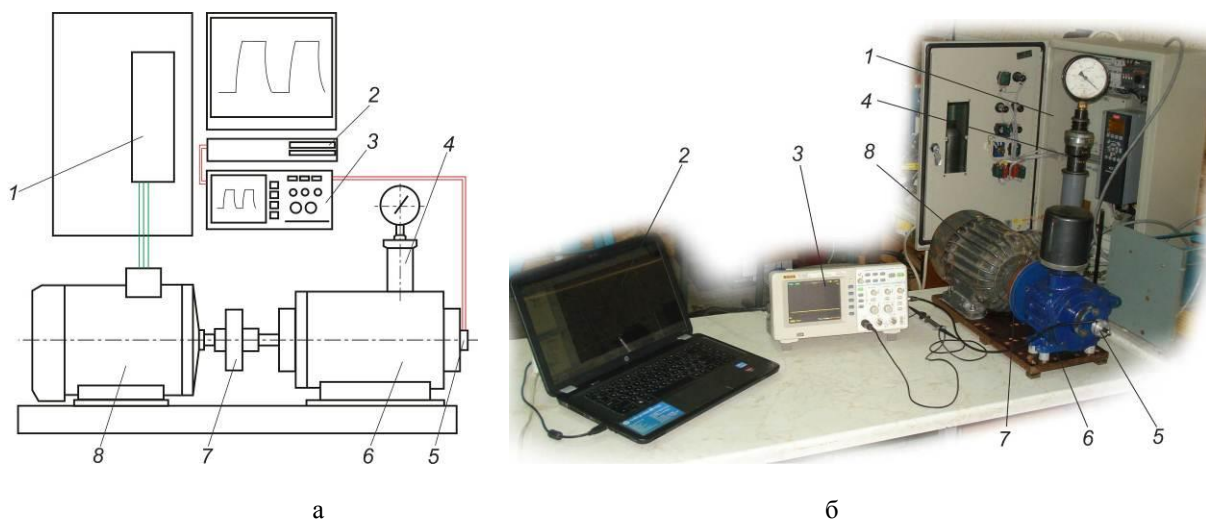


Рисунок 2 - Принципова схема (а) та загальний вигляд (б) стенду для досліджень фаз розподілу повітря експериментального вакуумного насоса: 1 - частотний регулятор Danfos; 2 - системний блок ПЕОМ; 3 – цифровий осцилограф Rigol DS1022C; 4 - витратомір КИ-4840М; 5 – датчик тиску MPX5100; 6 - експериментальний 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 вакууметричного тиску знімали за допомогою датчика MPX5100, встановленого згідно схеми, приведеній на рисунку 3. Отриманий сигнал фіксували осцилографом Rigol DS1022C з наступним записом отриманих даних на ПЕОМ (програмне забезпечення Ultrascope for DS1000).

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 вакууметричного тиску в робочій камері від кута повороту ротора (розгорнуті по куту повороту дійсні індикаторні діаграми) вакуумного насоса при різних частотах обертання ротора та значеннях вакууметричного тиску у всмоктувальному вікні.

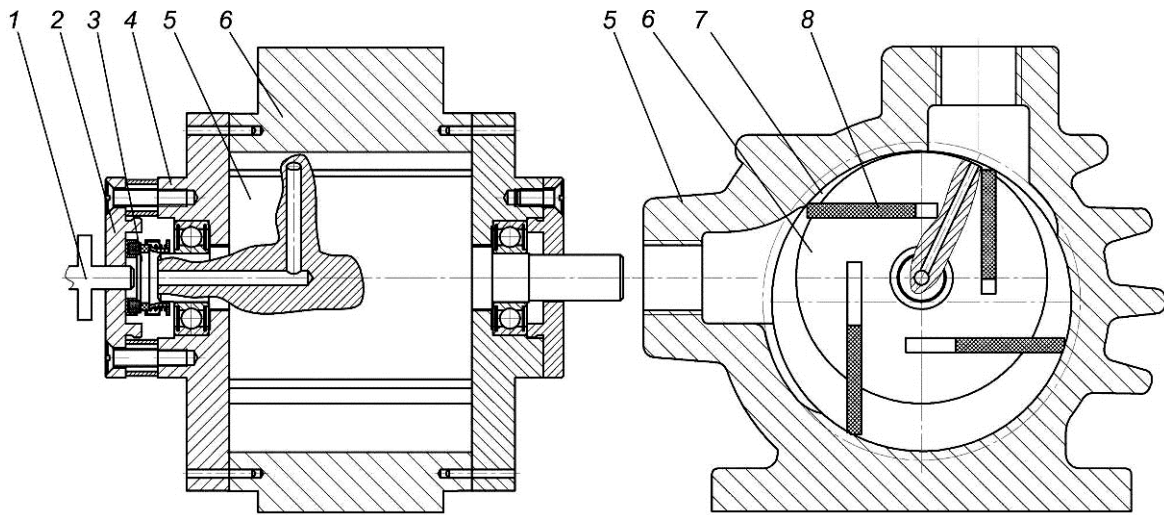


Рисунок 3 – Схема встановлення датчика тиску в експериментальному насосі: 1 - датчик тиску MPX5100; 2 – кришка підшипника; 3 – торцеве ущільнення; 4 – кришка насоса; 5 – ротор; 6 – статор; 7 – робоча камера; 8 - пластина

Аналіз експериментальних даних показує, що характер динамічного розподілу вакууметричного 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.

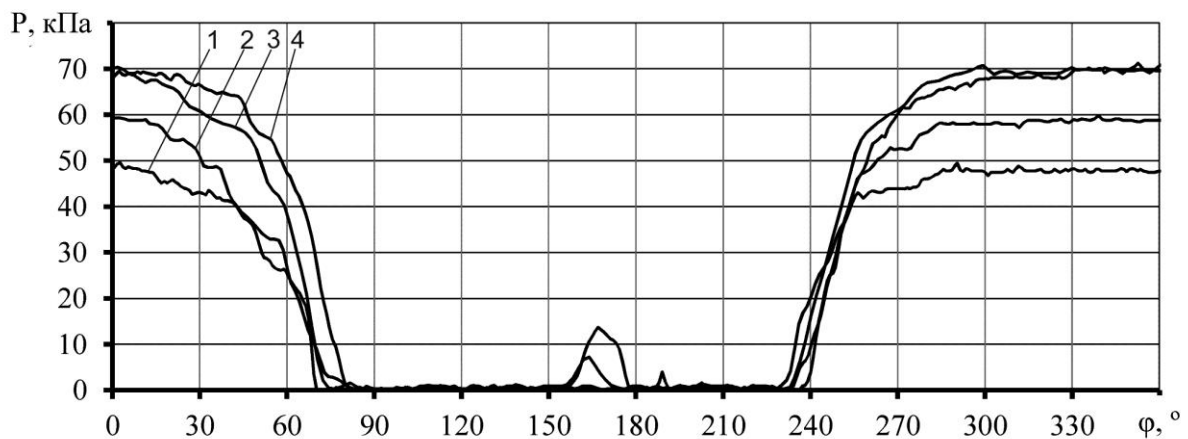


Рисунок 4 – Залежність зміни вакууметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора при різних частотах його обертання  $n$  та значеннях вакууметричного тиску у всмоктувальному вікні  $P$ : 1-  $n=1000$  об/хв.,  $P=52,4$  кПа; 2 -  $n=1500$  об/хв.,  $P=61,2$  кПа; 3 -  $n=2000$  об/хв.,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

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

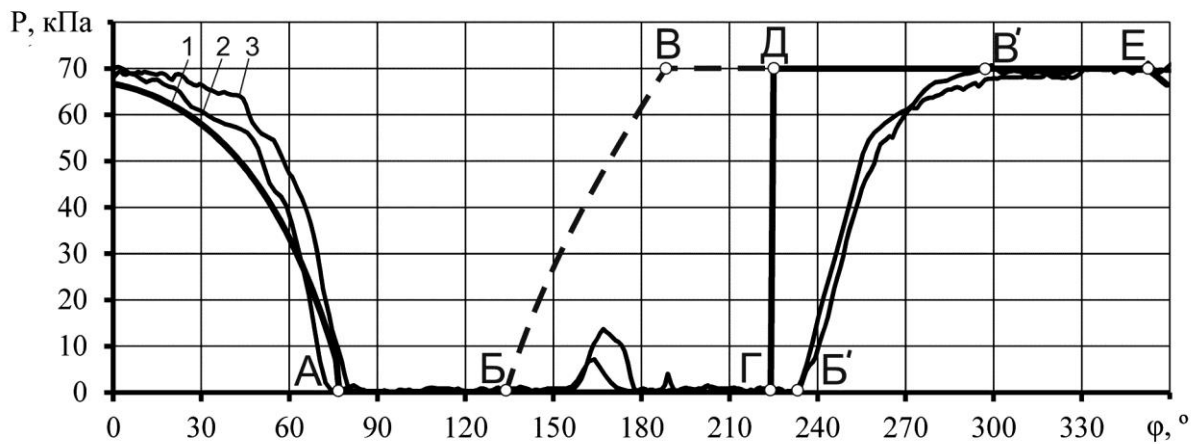


Рисунок 5 – Результати співставлення теоретичних (1) та експериментальних (2, 3) даних залежності зміни вакууметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора

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  $\varphi$ . 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 вакууметричного тиску в першій півкамері. Що стосується сплеску тиску на експериментальних кривих в діапазоні значень кута  $\varphi$  160-180°, то його можна пояснити перетіканням повітря між півкамерами при збільшенні різниці тисків в них. Загалом з отриманих даних можна стверджувати, що розрахований теоретично вакууметричний тиск знаходиться у довірчому коридорі експериментальних досліджень. Кореляція теоретичних та експериментальних даних складає 0,89. Це дає змогу стверджувати, що теоретичне рівняння розподілу вакууметричного тиску в робочій камері насоса від кута повороту ротора є справедливим при будь-якому значенні частоти обертання ротора для заданого значення вакууметричного тиску.

**Висновки.** В результаті експериментальних досліджень фаз розподілу повітря ротаційного пластинчатого вакуумного насоса були отримані динамічні залежності, що характеризують зміну вакууметричного 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. Головинцов А.Г. Ротационные компрессоры / А.Г. Головинцов, В.А. Румянцев, В.И. Ардашев – М.: Машиностроение, 1964. – С. 63-71.
2. Розанов Л.Н. Вакуумная техника / Л.Н. Розанов. – М.: Высшая школа, 1982. – 204 с.
3. Механические вакуумные насосы / [Е. С. Фролов, И. В. Автономова, В.И. Васильев и др.] – М.: Машиностроение, 1989. – 288 с.
4. Мжельский Н.И. Вакуумные насосы для доильных установок / Н.И. Мжельский – М.: Машиностроение, 1974. – 151 с.
5. 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.
6. 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.
  7. Хамеев В. М. Термодинамические процессы и параметрические характеристики вакуумных насосов / В. М. Хамеев – Новосибирск: Наука, 1986 – 75 с.

Volodymyr Dudin, Oleksandra Chukhlib  
*Dnipro state agrarian and economic university, Dnipro*

**Investigations of the air distribution phases of a rotary vane vacuum pump**

The purpose of work was theoretical and experimental research 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.

**vacuum, rotary vane pump, air distribution phases .**