

УДК 637.11

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ РОТАЦІЙНОГО ПЛАСТИНЧАСТОГО ВАКУУМНОГО НАСОСА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Линник Юрій Олександрович ст. викладач

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

Павленко Сергій Іванович к.т.н., доцент

Алієв Ельчин Бахтиярogli к.т.н., завідувач лабораторії

Інститут олійних культур НААН України

Грицун Анатолій Васильович к.с-г.н., доцент

Вінницький національний аграрний університет

Linnik Y.

Dnepropetrovsk State Agrarian Economics University

Pavlenko S.

Zaporozhe Research Center of mechanization of animal husbandry

Aliev E.

Institute of Oilseed Crops

Grytsun A.

Vinnitsa National Agrarian University

Анотація: в результаті чисельного моделювання робочого процесу ротаційного пластинчастого вакуумного насоса доїльної установки визначено динаміку розподілу вакуумметричного тиску і побудовані його індикаторні діаграми.

Ключові слова: доїльна установка, ротаційний пластинчастий вакуумний насос, вакуумметричний тиск, індикаторна діаграма, витрати повітря.

Постановка проблеми

Ефективність роботи ротаційного пластинчастого вакуумного насоса залежить від вибору його конструктивно-технологічних параметрів. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів вакуумного насоса враховуючи технологічні задачі, які для нього ставляться, є дуже складними теоретичними і витратними експериментальними процесами. Тому для спрощення теоретичних розрахунків і зменшення витрат на досліді проводять чисельне моделювання технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз досліджень [1-14] показав, що існуючі математичні моделі, які описують робочий процес вакуумного насоса не в повній мірі відображає дійсну зміну вакуумметричного тиску в робочій камері, так як в них не враховано внутрішні перетікання в насосі та зміни термодинамічного стану повітря.

Мета досліджень

Дослідити робочий процес ротаційного пластинчастого вакуумного насоса доїльної

установки.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження робочого процесу ротаційного пластинчастого вакуумного насоса проводились методом чисельного моделювання з використанням програмного пакету PumpLinx. Для проведення моделювання була побудована сітка 3D моделі ротаційного пластинчастого вакуумного насоса з використанням генератора поверхневої сітки і багатограничних комірок (рис. 1). Базовий розмір комірки складав 0,001 м.

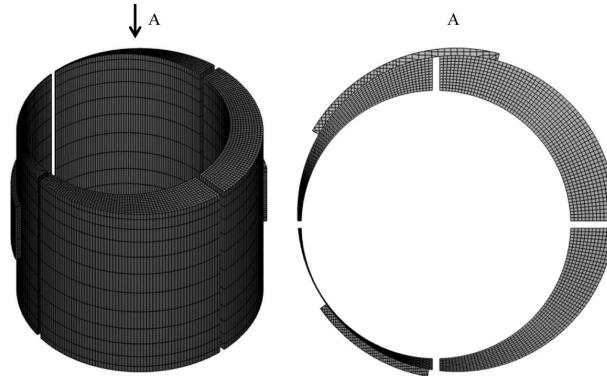


Рис. 1. Сітка 3D моделі ротаційного пластинчастого вакуумного насоса в PumpLinx

Моделювання проводилися з використанням моделі роторного лопатного насоса. Рух повітря підпорядковувався турбулентному стану із можливою кавітацією.

В початковий момент часу повітря в насосі знаходилося під атмосферним тиском – 101,325 кПа і температурою – 300 К.

Діаметр статора складав $D_p = 0,17$ м, діаметр ротора $d_p = 0,146$, довжина ротора $L_p = 0,172$ м, ексцентриситет $m_p = 0,0128$ м, товщина пластини $h_p = 0,005$ м; число пластин $Z_p = 4$ (рис. 2).

В процесі моделювання змінювали геометричні розміри насоса, а саме фази розподілу повітря: кут всмоктування вакуумного насоса θ_{in} в межах від $\pi/6$ до $\pi/2$, кут стиску вакуумного насоса θ_1 в межах від $\pi/2$ до π , кут нагнітання вакуумного насоса θ_{out} в межах від $\pi/6$ до $\pi/2$ (рис. 2). Частоту обертання ротора змінювали n від 0 до 3000 об/хв.

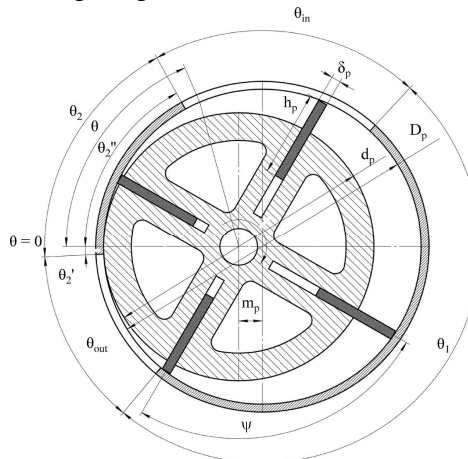


Рис. 2. Схема для визначення конструктивних параметрів ротаційного пластинчастого вакуумного насоса

Основні результати дослідження

В результаті чисельного моделювання робочого процесу ротаційного пластинчастого вакуумного насоса отримано динаміку розподілу вакуумметричного тиску (рис. 3).

Вимірювання вакуумметричного тиску в заданих точках (рис. 4) вакуумного насоса дали змогу отримати графіки його зміни (рис. 5).

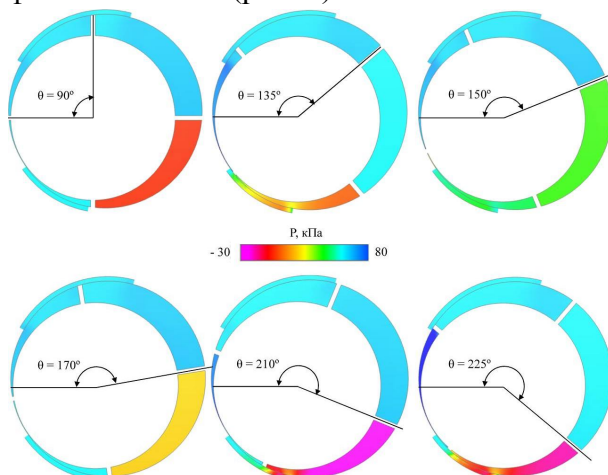


Рис. 3. Динаміка розподілу вакуумметричного тиску ротаційного пластинчастого вакуумного насоса (при $\theta_{in} = 1,22$ (71°), $\theta_1 = 3,09$ (177°), $\theta_{out} = 0,82$ (47°), $n = 3000$ об/хв)

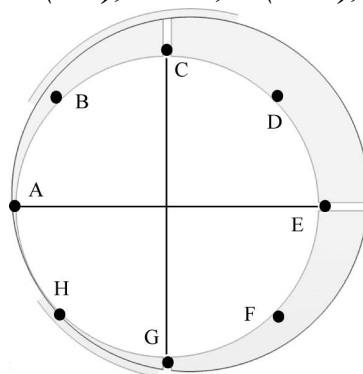


Рис. 4. Розміщення точок для вимірювання вакуумметричного тиску у вакуумному насосі

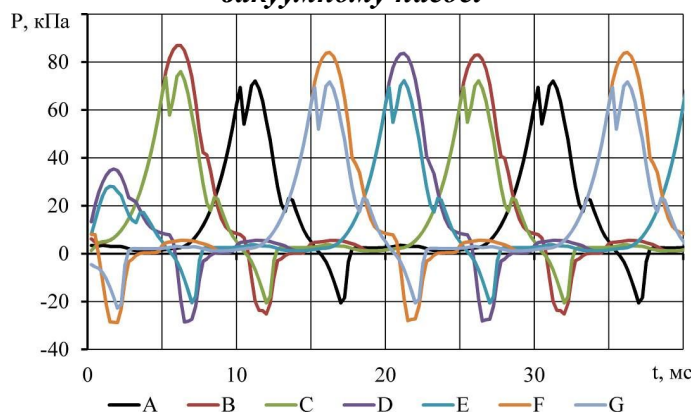


Рис. 5. Графіки зміни вакуумметричного тиску в заданих точках вакуумного насоса (при $\theta_{in} = 1,22$ (71°), $\theta_1 = 3,09$ (177°), $\theta_{out} = 0,82$ (47°), $n = 3000$ об/хв)

Перетворюючи дані з рис. 5 отримуємо індикаторну діаграму вакуумного насоса (рис. 6), яка показує динаміку вакуумметричного тиску в його робочій камері.

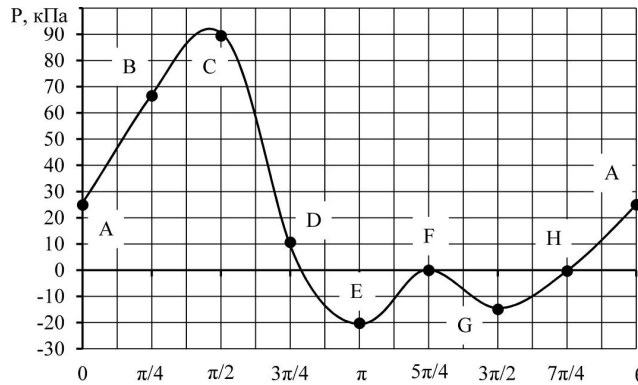


Рис. 6. Індикаторна діаграма вакуумного насоса (при $\theta_{in} = 1,22$ (71 °), $\theta_1 = 3,09$ (177 °), $\theta_{out} = 0,82$ (47 °), $n = 3000$ об/хв)

Як видно з рис. 6 всмоктування починається з різкого збільшення кривої вакуумметричного тиску в точці Н. Після чого крива набуває максимального значення, коли робоча камера має найбільший об'єм. При зменшенні об'єму камери, в період її подальшого руху, величина вакуумметричного тиску зменшується в результаті стиснення повітря. Тиск наприкінці стиснення в робочій камері повинен дорівнювати атмосферному, насправді він відповідає точки D на індикаторній діаграмі. Тому в момент сполучення камери із нагнітаючим вікном тиск в просторі нагнітання перевищує тиск в просторі стиснення. При цьому в момент відкривання нагнітаючого вікна з простору нагнітання повітря плавно перетікає в камеру. В результаті перетікання спостерігається вирівнювання тиску в камері і нагнітаючому вікні. При подальшому обертанні ротора починається виштовхування повітря в результаті зменшення об'єму камери. Виштовхування повітря відбувається до точки E, а при подальшому русі ротора наступна камера сполучається із простором нагнітання і з першою камерою. В силу того, що у другій камері вакуум, тиск в першій камері зменшується до точки F. Ця точка відповідає положенню коли тиск в першій і другій камерах і в просторі нагнітання вирівнюються. Після чого відбувається виштовхування повітря з другої камери, а цей тиск передається в першу камеру, і тиск в ній збільшується до точки G. Хоча в другій камері виштовхування не закінчується і тиск в нагнітаючому просторі зберігається, починаючи з точки G тиск в першій камері зменшується. Тиск вирівнюється із атмосферним в точці Н за рахунок перетікань газу між ротором і корпусом.

Індикаторна діаграма вакуумного насоса в координатах P(V) представлено на рис. 7.

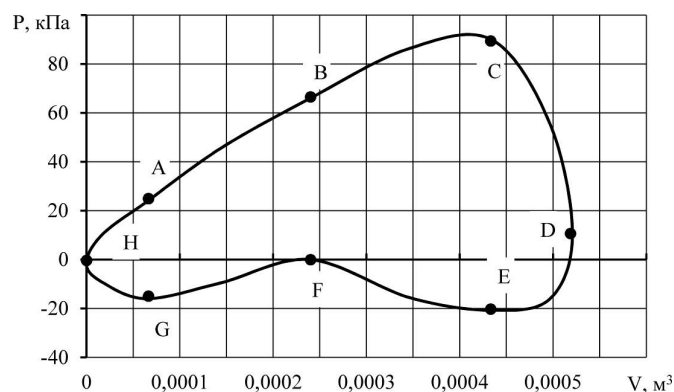


Рис. 7. Індикаторна діаграма вакуумного насоса (при $\theta_{in} = 1,22$ (71 °), $\theta_1 = 3,09$ (177 °), $\theta_{out} = 0,82$ (47 °), $n = 3000$ об/хв)

Режимною характеристикою вакуумного насоса є залежність зміни його продуктивності від вакуумметричного тиску, який він створює. Для ротаційного пластинчастого вакуумного насоса була отримана дана залежність при різних значення частоти обертання ротора (рис. 8).

Враховуючи прийнятну технологічну умову для ротаційного пластинчастого вакуумного насоса, а саме для забезпечення однакового режиму контролю вакуумметричного тиску в вакуумній системі доїльної установки необхідно, щоб швидкість його зміни була однаковою при збільшенні та зменшенні частоти обертання ротора вакуумного насоса:

$$\frac{\Delta Q(P_n, n + \Delta n)}{\Delta P} = \frac{\Delta Q(P_n, n - \Delta n)}{\Delta P}, \quad (1)$$

де P – вакуумметричний тиск, Па;

P_n – заданий вакуумметричний тиск в вакуумній системі, Па;

Q – витрати повітря, м³/с;

n – частота обертання ротора вакуумного насоса, с⁻¹.

Варіюючи конструктивними параметрами вакуумного насоса, а саме фазами розподілу повітря, і підставляючи отримані значення вакуумметричного тиску і витрат повітря в рівняння (1) можна стверджувати, що кут всмоктування $\theta_{in} = 1,22$ (71 °), кут стиску $\theta_1 = 3,09$ (177 °), кут нагнітання $\theta_{out} = 0,82$ (47 °).

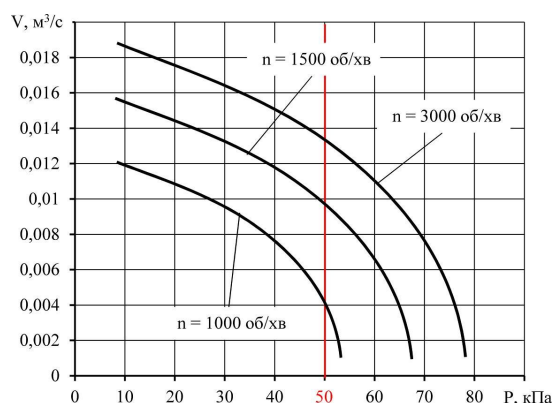


Рис. 8. Режимні характеристики ротаційного пластинчастого вакуумного насоса (при $\theta_{in} = 1,22$ (71 °), $\theta_1 = 3,09$ (177 °), $\theta_{out} = 0,82$ (47 °))

Висновки

В результаті чисельного моделювання робочого процесу ротаційного пластинчастого вакуумного насоса доїльної установки визначено динаміку розподілу вакуумметричного тиску і побудовані його індикаторні діаграми. Варіюючи конструктивними параметрами вакуумного насоса, а саме фазами розподілу повітря, можна стверджувати, що при куті всмоктування $\theta_{in} = 1,22$ (71 °), стиску $\theta_1 = 3,09$ (177 °) і нагнітання $\theta_{out} = 0,82$ (47 °) забезпечується однаковий режим контролю вакуумметричного тиску при збільшенні або зменшенні витрат повітря за рахунок зміни частоти обертання ротора.

Список літератури

1. Bell I. *The eoretical and Experimental Analysis of Liquid Flooded Compression in Scroll Compressors*. PhD

- thesis / I. Bell – Purdue University, 2011.
2. Bradshaw C. *A comprehensive model of a miniature-scale linear compressor for electronics cooling* / C. Bradshaw, E. Groll, S. Garimella – *International Journal of Refrigeration*, 2011. – № 34. – P. 63-73.
 3. Jovane M. *Modeling and analysis of a novel rotary compressor. PhD thesis* / M. Jovane – Purdue University, 2007.
 4. Kemp G. *Evaluation of a Prototype Rotating Spool Compressor in Liquid Flooded Operation* / G. Kemp, L. Elwood, E. Groll – In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, 2010. – No. 1389.*
 5. Kemp G. *Novel Rotary Spool Compressor Design and Preliminary Prototype Performance* / G. Kemp, N. Garrett, E. Groll – : *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2008. – No. 1328.*
 6. Kemp G. *Spool Compressor Tip Seal Design Considerations and Testing* / G. Kemp, J. Orosz, C. Bradshaw, E. Groll, – : In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2012. – No. 1258.*
 7. Kemp G. *Spool Seal Design and Testing for the Spool Compressor* / G. Kemp, J. Orosz, C. Bradshaw, E. Groll, – : In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2012. – No. 1259.*
 8. Mathison M. *Modeling of a two-stage rotary compressor* / M. Mathison, J. Braun, E. Groll, – *HVAC&R Research*, 2008. – № 14(5). – P. 719-748.
 9. Lee J. *Performance analysis of rolling piston type rotary compressor* / J. Lee, T.S. Min, – *Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue*, 1988. – P. 154-162.
 10. Okada K. *Motion of rolling piston in rotary compressor* / K. Okada, K. Kuyama, – *Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue*, 1982. – P. 178-184.
 11. Padhy S.K. *Heat transfer analysis of a rolling-piston rotary compressor* / S.K. Padhy, S.N. Dwivedi, – *Int. J. Refrig.*, 1994. – vol. 17, no. 6. – P. 400-410.
 12. Mathison M. *Volumetric efficiency and experimental errors of rotary compressors* / T. Shimizu, M. Kobayashi, T. Yanagisawa, – *Int. J. Refrig.*, 1980. – vol. 3, no. 4. – P. 219-225.
 13. Yanagisawa T. *Motion analysis of rolling piston in rotary compressor* / T. Yanagisawa, T. Shimizu, I. Chu, K. Ishijima, – *Proc. Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue*, 1980. – P. 185-192.
 14. Yanagisawa T. *Leakage losses with a rolling piston type rotary compressor* / T. Yanagisawa, T. Shimizu, – *I. Radial clearance on the rolling piston, Int. J. Refrig.*, 1985. – vol. 8, no. 2. – P. 75-84.

References

1. Bell I. *Theoretical and Experimental Analysis of Liquid Flooded Compression in Scroll Compressors. PhD thesis* / I. Bell – Purdue University, 2011.
2. Bradshaw C. *A comprehensive model of a miniature-scale linear compressor for electronics cooling* / C. Bradshaw, E. Groll, S. Garimella – *International Journal of Refrigeration*, 2011. – № 34. – P. 63-73.
3. Jovane M. *Modeling and analysis of a novel rotary compressor. PhD thesis* / M. Jovane – Purdue University, 2007.
4. Kemp G. *Evaluation of a Prototype Rotating Spool Compressor in Liquid Flooded Operation* / G. Kemp, L. Elwood, E. Groll – In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, 2010. – No. 1389.*
5. Kemp G. *Novel Rotary Spool Compressor Design and Preliminary Prototype Performance* / G. Kemp, N. Garrett, E. Groll – : *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2008. – No. 1328.*
6. Kemp G. *Spool Compressor Tip Seal Design Considerations and Testing* / G. Kemp, J. Orosz, C. Bradshaw, E. Groll, – : In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2012. – No. 1258.*
7. Kemp G. *Spool Seal Design and Testing for the Spool Compressor* / G. Kemp, J. Orosz, C. Bradshaw, E. Groll, – : In: *Proceedings of the International Compressor Engineering Conference. Purdue University, West Lafayette, IN USA, 2012. – No. 1259.*
8. Mathison M. *Modeling of a two-stage rotary compressor* / M. Mathison, J. Braun, E. Groll, – *HVAC&R Research*, 2008. – № 14(5). – P. 719-748.

9. Lee J. *Performance analysis of rolling piston type rotary compressor* / J. Lee, T.S. Min, – *Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue, 1988.* – P. 154-162.
10. Okada K. *Motion of rolling piston in rotary compressor* / K. Okada, K. Kuyama, – *Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue, 1982.* – P. 178-184.
11. Padhy S.K. *Heat transfer analysis of a rolling-piston rotary compressor* / S.K. Padhy, S.N. Dwivedi, – *Int. J. Refrig., 1994.* – vol. 17, no. 6. – P. 400-410.
12. Mathison M. *Volumetric efficiency and experimental errors of rotary compressors* / T. Shimizu, M. Kobayashi, T. Yanagisawa, – *Int. J. Refrig., 1980.* – vol. 3, no. 4. – P. 219-225.
13. Yanagisawa T. *Motion analysis of rolling piston in rotary compressor* / T. Yanagisawa, T. Shimizu, I. Chu, K. Ishijima, – *Proc. Int. Compres. Eng. Conf. at Purdue, 1980.* – P. 185-192.
14. Yanagisawa T. *Leakage losses with a rolling piston type rotary compressor* / T. Yanagisawa, T. Shimizu, – *I. Radial clearance on the rolling piston, Int. J. Refrig., 1985.* – vol. 8, no. 2. – P. 75-84.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА РОТАЦИОННЫХ ПЛАСТИНЧАТЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ ДОИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация: в результате численного моделирования рабочего процесса ротационного пластинчатого вакуумного насоса доильной установки определено динамику распределения вакуумметрического давления и построены его индикаторные диаграммы.

Ключевые слова: доильная установка, ротационный пластинчатый вакуумный насос, вакуумметрическое давление, индикаторная диаграмма, расхода воздуха.

THE RESULTS OF NUMERICAL SIMULATION OF THE ROTARY VANE VACUUM PUMPS MILKING MACHINE

Summari: by numerical simulation of the rotary vane vacuum pump milking system dynamics defined distribution of vacuum pressure and built its indicator diagrams.

Keywords: milking machine, rotary vane vacuum pump, vacuum pressure indicator diagram, the air flow.