УДК 621.87

Володін [1] О.С.,
Кривопляс-Володіна [2] Л.О., к.т.н., доцент
Гавва О.М. д.т.н., професор
Гнатів [2] Т.Т.
1 - Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна
2 - Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

ІНТЕГРОВАНІ РІШЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МЕХАТРОННИХ МОДУЛІВ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН

Анотація. *Программы имитационного моделирования и вычислительные ресурсы на базе CFD-методов (Computational Fluid Dynamics) являются основой решения сложных технических задач и интегрирования передовых технологий в новые технические решения. В работе описан алгоритм и разработка на его основе математической модели для исследования пневмосопловой системы в упаковочном оборудовании. Представленная методика позволяет синтезировать новые устройства, ускорить процесс исследования и разработки технической документации, сокращает время испытаний. Общая цель этой статьи - дать обзор имитационных методов исследования в программном пакете (ПП) FlowVision; исследовать математическую модель гидродинамического характера в пневмосопловом эжекторе для функциональных модулей упаковочного оборудования.На базі проведених досліджень розроблено алгоритм діагностики пневмосистеми із сопловими пристроями на основі ежекторів. Розроблено імітаційну модель та визначено характеристики розподілу тиску і швидкості руху робочого середовища всередині ежектора. Отримані результати доводять, що динамічні моделі мають більш високу точність прогнозування і дають більше інформації у порівнянні із стійкими термодинамічними моделями.*

Ключові слова: *эжектор, продукт, режимы, сопло, упаковки, гидродинамика, процесс*

Сучасна індустрія пакування є однією з тих, що найбільш динамічно розвивається у всіх галузях промисловості. Особливо інтенсивним є розвиток пакування у харчовій галузі через значну частку різних груп продуктів (штучні, дрібно-штучні, в'язкі, рідкі, тощо). Пов'язано це з тим, що в Україні виникло і розвивається багато великих та дрібних підприємств, які розробляють таке пакувальне обладнання.[1] Тому виникла проблема створення обладнання для якісного пакування харчових продуктів із різними фізико-механічними та хіміко-біологічними властивостями. Особливу увагу розробники пакувального обладнання приділяють системам, які дозволяють збільшити час зберігання продуктів при мінімумі затрат коштів та енергії.

Матеріал і методи. Матеріалами дослідження є енергоефективні, багатофункціональні пневмосоплові мехатронні модулі для введення в упаковку газового модифікованого середовища (ГМС). Розроблення таких систем базувалось на створенні моделі синтезу модуля подачі плівки пакувального рулонного матеріалу на основі неоднорідної технічної системи, рис.1. Методами дослідження при розробленні математичних моделей застосовано методи теоретичної механіки, математичного аналізу, математичної фізики і сучасні числові методи.

Задачами дослідження були процеси взаємодії між окремим функціональним пристроєм пакувальної машини і системою керування із зниженим енергоспоживанням. Дослідження для мехатронного функціонального пристрою системи наповнення споживчої упаковки інертним газом проводились як в імітаційних програмах (ПП FlowVision) так і експериментальним шляхом. В якості блоку керування пристроєм застосовані чотири K8P (зворотній зв'язок 0..5V), точність регулювання тиску складає межі 0-0,5 бар, блок живлення 24V DC. На виході блоку монтуються різні за технологічними характеристиками соплові пристрої: «напрямлена струмина», «розділена струмина». В ході дослідження розглядалась задача формування і підтримки рівноважного модифікованого газового середовища на виході механізму подачі плівки, під час формування споживчої упаковки. В процесі дослідження розглядалась двошарова

газовмісна споживча упаковка на основі гнучких полімерних матеріалів для вертикальних і горизонтальних пакувальних машин. Усередині упаковки продукт підвішується, немов у гамаку, і захищений від пошкодження рис.2. Упаковка запаюється з двох кінців, сам продукт оточений невеликою подушкою із суміші інертних газів. У складі пакету - дві газонаповнені каверни, де можуть розміщуватися харчові продукти - хліб, овочі або салати [3]. Як видно з наведеної нижче схеми, дві порожнини з продуктами знаходяться всередині двох інших, зовнішніх порожнин, заповнених сумішшю кисню і вуглекислого газу. Перший варіант - 10% кисню і 90% вуглекислого газу у внутрішній і 90% кисню з 10% вуглекислоти у зовнішній порожнини. Другий - 60% кисню і 40% вуглекислоти для внутрішньої, при 80% кисню і 20% вуглекислого газу для зовнішньої. Власне каверни з продуктами наповнені інертним газом за допомогою керуючого функціонального блоку рис.5 із системою зворотнього зв'язку.

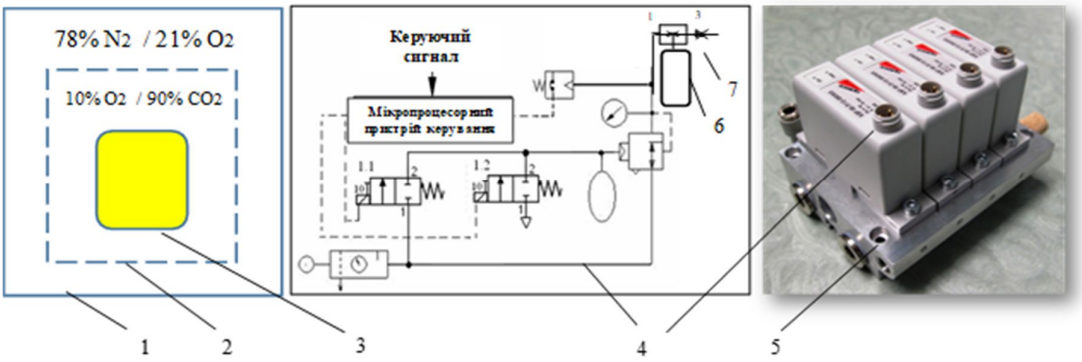


Рис.1 – Загальний вид експериментального стенду пневмосоплового мехатронного модуля подачі ГМС в рукав пакувального матеріалу в системі із електропневматичними регуляторами тиску K8P (Camozzi) і принципова схема керування функціонального блоку:
1 – зовнішній шар упаковки, 2 – внутрішній шар упаковки, 3 – штучний харчовий продукт, 4 – принципова схема керування пристроєм подачі газу (зовнішній вид блоку керування), 5 – витратна плита керуючого блоку, 6 – ресивер газу, 7 – система ежектор-сопло.

В процесі аналізу роботи використані програми імітаційного моделювання і обчислювальні ресурси на базі CFD-методів (Computational Fluid Dynamics).

При моделюванні ежектора також прийняті допущення про одномірність потоку. Закон збереження маси має вигляд:

$$G_3 = G_1 + G_2, \text{ тоді } G_3/G_1 = 1 + n \quad (1)$$

На основі закону збереження енергії:

$$G_3\left(c_3T_3 + \frac{w_3^2}{2}\right) = G_1\left(c_1T_1 + \frac{w_1^2}{2}\right) + G_2\left(c_2T_2 + \frac{w_2^2}{2}\right) + Q \quad (2)$$

де $Q -$ загальна кількість тепла, яке підводиться до повітря (газу) в секунду через стінку змішувальної камери. При розрахунках лінійних ежекторів, приймається, що $Q = 0$ і гази, які змішуються, однорідні і мають однакову теплоємкість. [2]. Допущення:

$$(n+1)\frac{T_3^*}{T_1^*} = 1 + n\frac{T_2^*}{T_1^*} \quad (3)$$

Введені співвідношення $\Theta = \frac{T_2^*}{T_1^*}$, дозволили отримати зручні формули для розрахунку:

$$\frac{T_3^*}{T_1^*} = \frac{n\Theta+1}{n+1} \quad (4)$$

$$\frac{a_{k3}}{a_{k3}} = \sqrt{\frac{n\Theta+1}{n+1}} \quad (5)$$

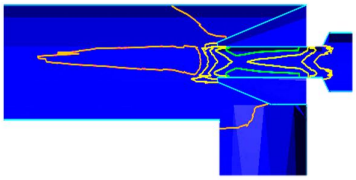
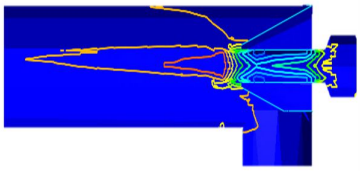
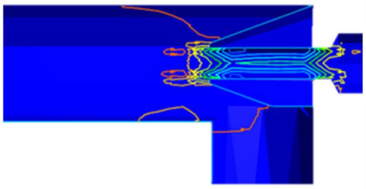
Витрати повітря (газу) в будь-якому перетині сопла розрахувались за формулою:

$$G = m\sigma_1 \frac{p^* F q(\lambda)}{\sqrt{T^*}} \quad (6)$$

де m знаходиться за формулою і для повітря $m = 0{,}0404$ м$^{-1} \cdot$ с $\cdot$ К^{0,5}; σ_1 —коефіцієнт відновлення тиску в активному соплі.

Таблиця 1.

Результати імітаційного моделювання L-подібного ежектора

№ п.п	Діаметр сопла в перерізі ежектора	Робоче середовище	Характеристика зміни швидкості (ізолінії)	Характеристики зміни тиску в перерізі сопла ежектора в залежності від витрат
1	∅ 0,7 мм	N2+O2+Ar+CO2 Середня молярна маса 28,98 г/моль; Середня питома теплоємність при постійному тиску Ср 1,006 кДж/(кг·К). Середня питома теплоємність при постійному об'ємі Cv 0,717 кДж/(кг·К). Показник адіабати 1,40. Коеф. динамічної в'язкості (при н. у.) 18,1 мкПа·с		
2	∅ 0,7 мм	N2 Середня молярна маса 28,016 г/моль; Середня питома теплоємність при постійному тиску Ср 1,05 кДж/(кг·К) Середня питома теплоємність при постійному об'ємі Cv 1 кДж/(кг·К) Показник адіабати 1,404 Коеф. динамічної в'язкості (при н. у.) 17,6 мкПа·с		
3	∅ 0,7 мм	O2 Середня молярна маса 32 г/моль; Середня питома теплоємність при постійному тиску Ср 0,918 кДж/(кг·К) Середня питома теплоємність при постійному об'ємі Cv 0,66 кДж/(кг·К) Показник адіабати 1,4 Коеф. динамічної в'язкості (при н. у.) 20,2 мкПа·с		

Висновки. На базі проведених досліджень розроблено алгоритм діагностики пневмосистеми із сопловими пристроями на основі ежекторів. Розроблено імітаційну модель та визначено характеристики розподілу тиску і швидкості руху робочого середовища всередині ежектора. Отримані результати доводять, що динамічні моделі мають більш високу точність прогнозування і дають більше інформації у порівнянні із стійкими термодинамічними моделями. На підставі результатів проведеного циклу імітаційних і фізичних експериментів можна вважати, що визначальними елементами робочої характеристики ежектора є: а) сопло, що забезпечує потрібну течію; б) камера змішування з необхідними параметрами; в) місце розташування сопла і форма його сполучення з поверхнею ежектора, що забезпечують необхідний розподіл тиску і поворот струменя. Зазначені фактори визначають рівень витратної характеристики і ефективність роботи низьконапірної ежекторної системи в пакувальній машині.

Список літератури

1. *Stevenson* R., Z. Yang, V. (2006) Jairazbhoy, *Transient* Bernoulli flow in multi-port fluid devices with arbitrary geometry, Appl. Math. Modelling, in press, doi:10.1016/j.apm.2006.11.002.
2. *Kryvoplyas*-Volodina, L. *Research* of dynamic process in the pneumatic cylinder system of double action at the stable movement/ Journal of food and packaging science technique and technologies. - 2014p. – Volum2.- Year III, №4. – С. 138-142