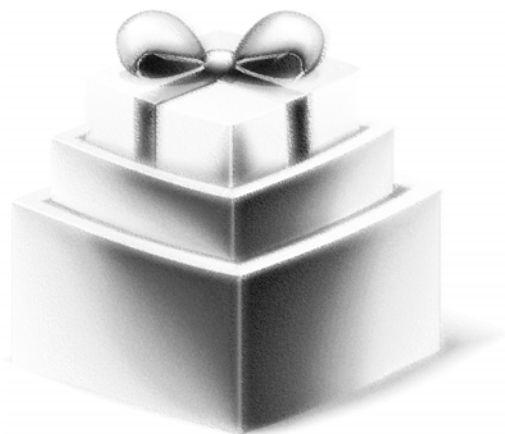


**Міністерство освіти і науки України  
Клуб пакувальників України  
Національний університет харчових технологій  
АТ «Київський міжнародний контрактний ярмарок»**

**Матеріали доповідей  
XVII Науково-практичної конференції  
молодих вчених  
«Новітні технології пакування»**

**Додаток до журналу «Упаковка®»**



**За підтримки:**



**Київ — 2018**

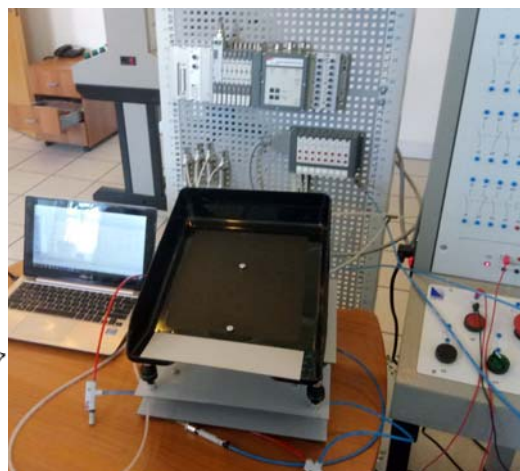
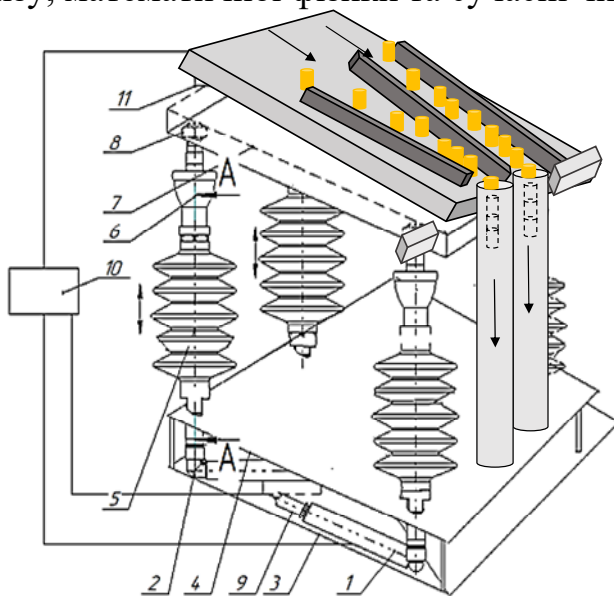
|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ю.П. Шоловій, к.т.н., Н.І. Магерус, к.т.н. НУ «ЛП», м. Львів</b><br>Умови витікання дрібнодисперсних сипких матеріалів<br>з конічної лунки бункера під дією вібрації.....                                               | 38 |
| <b>Є.В. Бродець, О.М. Гавва, д.т.н., А.В. Деренівська, к.т.н, НУХТ, м. Київ</b><br>Розроблення та дослідження мехатронного модуля для дозування<br>важкоплинної сипкої продукції шнековим дозатором безперервної дії ..... | 42 |
| <b>Б.В. Михайлик, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ</b><br>Реалізація оптимального закону формування дози рідкої продукції<br>ваговим способом.....                                                                        | 47 |
| <b>О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, д.т.н., НУХТ, м. Київ</b><br>Дослідження мехатронних модулів для дозування рідкої продукції<br>на основі використання пневматичних шлангових затворів .....                               | 51 |
| <b>О. Онофрійчук, О. Кохан, к.т.н., НУХТ, м. Київ</b><br>Вплив пакувального матеріалу та способу пакування на зміну кристалічності<br>помадних цукерок на основі глюкози, фруктози, лактози.....                           | 54 |
| <b>О.О. Бойко, к.т.н., С.М. Мироненко, НУХТ, м. Київ</b><br>Вакуумування в технологіях пакування .....                                                                                                                     | 58 |
| <b>Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., НУХТ, м. Київ</b><br>Дослідження функціональних мехатронних модулів<br>у структурі синтезу пакувальних машин .....                                                                     | 60 |
| <b>В.М. Якимчук, О.М. Гавва, д.т.н., НУХТ, м. Київ</b><br>Особливості компонування зон робочого сервісного простору<br>робототехнічних комплексів пакування .....                                                          | 64 |
| <b>Д.С. Гриценко, к.т.н., ВПІ НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», м. Київ</b><br>Удосконалення механізму привода<br>транспортувальної системи тамподрукарської машини .....                                                  | 67 |
| <b>Т.Т. Гнатів, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., С.В. Токарчук, к.т.н.,<br/>НУХТ, м. Київ</b><br>Аналіз динаміки сильфонного пневмоциліндра<br>з інерційним навантаженням.....                                             | 69 |
| <b>В.Л. Степчук, Б.П. Валецький, к.т.н., Луцький НТУ</b><br>Автоматизація розрахунків параметрів та побудови ескізу<br>складського приміщення з фронтальними стелажми .....                                                | 72 |

## Аналіз динаміки сильфонного пневмоциліндра з інерційним навантаженням

Т.Т. Гнатів, Л.О. Кривопляс-Володіна, к.т.н., С.В. Токарчук, к.т.н., НУХТ, м. Київ

**Вступ.** Робота присвячена дослідженню та обґрунтуванню конструктивних рішень завантажувальних вібраційно-інерційних функціональних модулів для технологічних машин. Аналіз технічних рішень вібраційно-інерційної системи бункер – живильник і бункер – лоток дав змогу відокремити найбільш поширену систему керування на основі електропневмопривода, яка забезпечує великий діапазон зміни динаміки характерних технологічних процесів. Одним із поширених технічних рішень у вібраційно-інерційних системах є заміна пневмоциліндрів на пневмомускули (ПМ). Для вдосконалення конструктивних рішень приводів завантажувальних вібраційно-інерційних функціональних модулів для блістерних машин нами запропоновано конструкцію сильфонних пневмоциліндрів (СП) на знакозмінному тиску.

**Матеріал і методи.** Матеріалами дослідження є СП в дослідній розробленій авторами конструкції вібраційно-інерційного лотка-живильника. СП за технічними характеристиками можна порівнювати із ПМ. Задачею дослідження є розроблення енергоефективних багатофункціональних мехатронних модулів у структурі синтезу модуля вібраційно-інерційного лотка-живильника для дрібно-штучних продуктів (рис. 1). Як методи дослідження при розробленні математичних моделей застосовано методи газодинаміки, математичного аналізу, математичної фізики та сучасні числові методи.



а)

б)

**Рис. 1.** Привод вібраційно-інерційного живильника: загальна схема компоновки приводу (а), де 1 – ежектор, 2 – кутовий фітінг, 3 – опорний лоток, 4 – проміжний лоток, 5 – СП, 6 – напрямний самоцентрувальний шарнір із різьбовим кріпленням, 7 – верхня плита фіксації, 8 – гайка, 9 – трубопровід, 10 – блок керування мікропроцесорною системою з контрольно-вимірним приладом і зворотним зв'язком, 11 – контрольно-вимірні прилади на основі акселерометра; загальний вид експериментальної установки (б)

Задачами експериментального дослідження є:

а) перевірка прийнятих припущень при розробці математичної моделі щодо реальних умов;

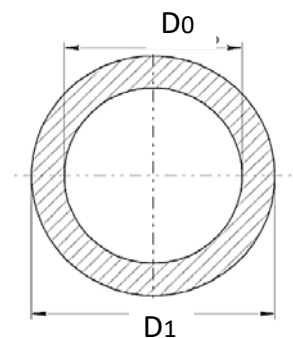
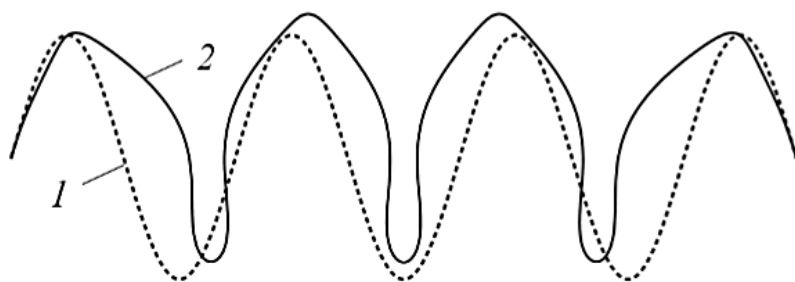
б) перевірка адекватності математичної моделі щодо реального процесу руху й розділення дрібно-штучної продукції в системі вібраційно-інерційного лотка завантажувача;

в) визначення параметрів вибору СП, зокрема критичного тиску навантаження.

Розрахунок стійкості СП виконано з такими припущеннями: СП є стрижнем із приведеною жорсткістю згину; осьова сила, яка виникає в зафіксованому патрубку сильфона, дорівнює добутку умовної площі перерізу оболонки та внутрішнього тиску; сильфон на дослідній установці має шарнірне кріплення; вирішення задачі щодо втрати стійкості стрижня із шарнірним кріпленням на основі формули Ейлера за критичним зусиллям:

$$F = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (1)$$

Розглянемо СП як пустотілий циліндр із невідомою товщиною стінки (рис. 2) за меридіаном гофрованої оболонки.



а)

б)

**Рис. 2.** Привод вібраційно-інерційного живильника: загальна форма меридіана (а), де 1 – форма до подачі тиску в СП, 2 – форма після подачі тиску в СП; умовний циліндричний переріз СП (б).

Проведено розрахунки гофрованої оболонки з параметрами:  $l$  – довжина сильфона, модуль пружності  $E = 0,023$  Па (матеріал – NBR), зовнішній радіус сильфона  $R_1 = D_1/2 = 25$  мм; коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,5$ ; тиск  $q_n = 1$  МПа; довжина одного гофру  $w = 5$  мм; кількість гофр СП  $m = 6$ ; радіус спряження  $r = 2$  мм. Ефективний модуль Юнга через осьову жорсткість сильфона  $K$  дорівнює:

$$E = \frac{Kl}{S} \quad (2)$$

Момент інерції даного перерізу та його площі знаходимо за формулами:

$$I = \frac{\pi^2 (D_1^4 - D_0^4)}{64}; \quad S = \frac{\pi^2 (D_1^2 - D_0^2)}{4}; \quad (3)$$

де  $R_0 = D_0/2$  – внутрішній радіус сильфона (мм);  $S$  – активна площа сильфона (мм<sup>2</sup>). Підставляючи (3) у (1), отримаємо:

$$F = \frac{\pi^2 Kl(D_1^4 - D_0^4)}{16l^2(D_1^2 - D_0^2)}; \quad (4)$$

Після перетворень отримаємо:

$$F = \frac{\pi^2 KD_{eq}^2}{8l}, \quad \text{позначимо} \quad D_{eq}^2 \approx \frac{(D_1^2 + D_0^2)}{2} \quad (5)$$

$$F = \frac{p\pi D_{eq}^2}{4}, \quad (6)$$

Підставляємо (6) у (5) і знаходимо формулу критичного внутрішнього тиску сільфона:

$$p = \frac{\pi K}{2l} = \mu \frac{\pi K}{l}, \quad (7)$$

де  $\mu = 0,5$  при шарнірному кріпленні,  $\mu = 1$  при змішаному,  $\mu = 2$  при жорсткому.

Таким чином, критичний внутрішній тиск СП залежить від осьової жорсткості, сумарної довжини гофрів та способу закріплення.

## Висновки

Проаналізовано СП за критичним навантаженням. На базі проведених досліджень запропоновано модель керування пристроєм вібраційно-інерційного лотка на основі електропневмопривода, яка забезпечує великий діапазон зміни динаміки характерних технологічних процесів переміщення й розділення потоку штучних продуктів.

## Література

1. *Blaauwendraad J., Hoefakker J.H.* Structural shell analysis, springer netherlands, 2014. [8] *V.L. Berdichevsky*, Variational principles of continuum mechanics. Vol. 2, Applications, springer. Berlin, 2009.
2. *Eliseev V., Vetyukov Yu.* Finite deformation of thin shells in the context of analytical mechanics of material surfaces // *Acta Mechanica*. 2010. Vol. 209. No. 1–2. Pp. 43–57.
3. *Chapelle B., Bathe K.J.* The finite element analysis of shells – Fundamentals, Computational Fluid and solid Mechanics. 2nd ed. Springer. Berlin, 2011.