

### Інтеграція прецизійного дозатора в мехатронний модуль маніпулятора

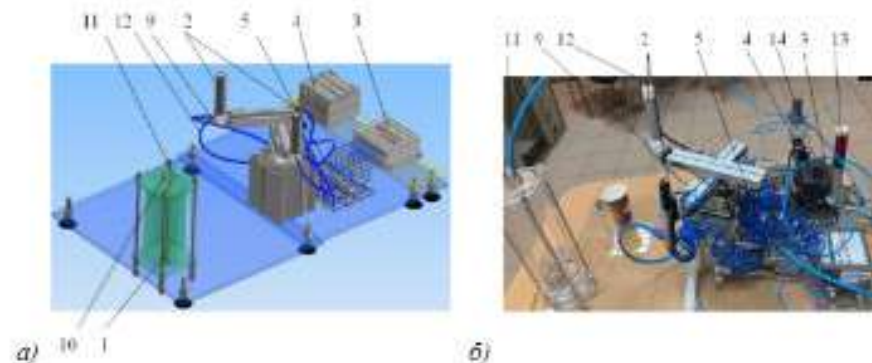
*Т.В. Бутник, О.О. Гаєва, Л.О. Кривоногас-Володіна, д.т.н., С.В. Токарчук, к.т.н., Національний університет харчових технологій, м. Київ*

**Вступ.** Точне дозування рідини – це складний, але актуальний для дослідження процес, зокрема, щодо контролю за точністю формування дози. Найбільш важливою для в'язких харчових продуктів, біомедичних препаратів є конструкція поршневих дозаторів. Різноманітність конструкцій та характеристик клапанів керування для точного формування дози продукту обумовлює необхідність додаткових досліджень. Основна перевага методу дозування за часом полягає в тому, що кількість продукту, який відбирається із живильника, не залежить від висоти напору, мірної ємності та форми відповідного продуктопроводу. Прототип запропонованого нами клапана був створений і протестований на точність відбору дози від 5 до 50 мг, із корегуванням діапазону тиску й часу. Отримані результати показали високу повторюваність і точність для продуктів із низькою та середньою в'язкістю (молоко, олія, клей). Їх можна порівняти з існуючими комерційно доступними системами точного дозування.

**Метою дослідження** є математичне та фізичне моделювання процесу дозування в'язких харчових продуктів. Для цього пропонується пошук початкових умов і припущень для здійснення розрахунків та подальшого розвитку функціонального дозувального модуля в складі маніпулятора. Об'єктом дослідження є маніпулятор-дозатор поршневого типу для в'язких харчових продуктів. Предметом дослідження є процеси формування та виділення дози продукту. Цілі дослідження наступні: Дослідити процес формування та подальшого фасування дози продукту з дозатора. Аналітично описати окремі етапи процесу дозування, проаналізувати точність і продуктивність досліджуваної системи. Визначити вплив окремих параметрів на точність формування дози продукту, а також забезпечити необхідний розподіл тиску в продуктопроводі за умов дотримання заданої продуктивності дозатора. Розробити стенд для дослідження функціонального дозувального модуля з програмно заданими режимами формування та переміщення дози продукту.

**Матеріали і методи дослідження.** Проведені експериментальні теоретичні дослідження базувалися на застосуванні фундаментальних законів гідродинаміки рідких середовищ і в'язких рідких середовищ, загальної теорії розв'язування звичайних диференціальних рівнянь, теорії тривимірного моделювання та математично-статистичної теорії обробки експериментальних даних. Отримані результати сформовані на статичних та динамічних характеристиках системи керування дозувальним пристроєм з аналізом вибору конструктивних параметрів обладнання, що спрямоване на підвищення метрологічних характеристик автоматизованої системи дозування. Оцінку систематичних похибок проводили в пакеті Excel для запропонованого способу порційного дозування.

**Результати моделювання.** На рис. 1 показано загальний вид моделі експериментальної установки маніпулятора з поршневими прецизійними дозаторами. Порівняння отриманих експериментальних розподілень підтверджує дані щодо чисельного моделювання роботи функціонального мехатронного модуля для фасування рідких харчових продуктів.



**Рис. 1.** Загальний вид експериментального стенду для дослідження дозування в'язких продуктів: загальний вигляд експериментального стенду 3D (а); загальний вигляд модуля дозувального маніпулятора після монтажу (б); 1 – бак для відходу; 2 – дозувально-пакувальний модуль поршневого типу; 3 – пневмострія із комплектом виконавчих регулюючих клапанів (електромагнітні розподільники 3/2НО, 5/3, 5/2) з пневмосигналом; 4 – система керування (ПЛК); 5 – виконавчі пневмоклапани дозатора; 6 – модуль лінійного переміщення дозаторів (2 тандемні циліндри з протиповоротною платформою); 7 – поворотний циліндр; 8 – модуль вертикального переміщення маніпулятора (лінійний циліндр оснащений датчиками та герконами); 9 – зливний патрубок; 10 – канал джерела живлення з ежектором; 11 – вхідний патрубок; 12 – з'єднувальний трубопровід; 13 – сигнальна лампа; 14 – блок контролю й підготовки стисненого повітря

На рис. 2 наведено результати проведеного експерименту за алгоритмом зміни тиску в резервуарі живильника дозатора з надлишкового до вакууметричного, відповідно до розробленого плану експерименту дозування питної води. Стационарний режим обумовлюється швидкістю і тиском повітря, які в процесі роботи установки залишаються постійними, з урахуванням режиму транспортування. Швидкість повітря і тиск на вході є основними умовами для початку етапу відбору (витиснення) дози продукту. Перший етап (рис. 2, а, б) демонструє вихід установки на стационарний режим витиснення продукту при подачі стисненого повітря в систему в межах програмно заданого діапазону зміни тиску за діапазоном від 0,99 до 1,81.

Тиск, бар	Швидкість дозування рідки, м/с											
	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	
1.01	1.549025	1.816005	1.896552	2.114573	2.217987	2.302347	2.365695	2.4018	2.392185	2.280753	1.967815	1.01
1.01	1.368643	1.628837	1.836276	1.956399	2.056099	2.12526	2.159621	2.149897	2.076624	1.901289	1.588817	1.01
1.01	1.298104	1.535285	1.696185	1.832147	1.92795	1.984429	1.998679	1.962419	1.862794	1.677567	1.391534	1.01
1.01	1.24999	1.452690	1.622199	1.751506	1.840211	1.897182	1.899599	1.83011	1.71138	1.540107	1.288049	1.01
1.01	1.211346	1.428166	1.590117	1.713093	1.795833	1.836351	1.835237	1.779547	1.669892	1.500340	1.276680	1.01
1.01	1.199911	1.438903	1.598521	1.716543	1.794827	1.833951	1.828413	1.775814	1.668273	1.503190	1.27031	1.01
1.01	1.201368	1.495088	1.649154	1.761271	1.835571	1.873647	1.87127	1.827639	1.728985	1.565177	1.326654	1.01
1.01	1.17331	1.402934	1.746748	1.845090	1.914062	1.954513	1.963302	1.933826	1.854675	1.704652	1.480253	1.01
1.01	1.621877	1.794576	1.88846	1.969535	2.022331	2.06826	2.09304	2.096591	2.053995	1.956002	1.738125	1.01
3.32	1.302308	2.067451	2.046599	2.08396	2.147466	2.204959	2.250815	2.284166	2.306698	2.30822	2.50183	3.32
2.36	2.196981	2.127027	2.148327	2.20186	2.274844	2.350301	2.422479	2.488956	2.549388	2.603823	2.615618	2.36
a)	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	

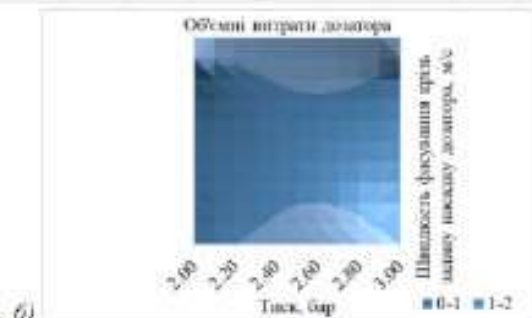


Рис. 2. Характеристика зміни основних параметрів дозування та керування тиском у системі ерліфтного функціонального мехатронного дозувального модуля: за табличними середніми даними експериментів дозування (а); зміна тиску відповідно зміні швидкості потоку в векторному полі з визначенням екстремумів (б)

**Висновки.** Отримані результати пояснюються перш за все тим, що враховано форму робочого каналу продуктопроводу та діаметральний переріз робочого каналу на підведенні та витисненні продукту з дозувального ресивера. Зі збільшенням часу дозувального процесу відбувається стабілізація стисненого повітря в продуктопроводі та суттєво покращується точність дози продукту. Стационарний режим обумовлюється швидкістю і тиском повітря, які в процесі роботи установки залишаються постійними, з урахуванням режиму транспортування. Швидкість повітря і тиск на вході є основними умовами початку етапу відбору (витиснення) дози продукту. Враховуючи мету здійснених досліджень, яка враховує і фізичне моделювання процесу ерліфтного дозування рідких та малов'язких харчових продуктів, визначено початкові умови для подальшої розробки та дослідження роботи функціонального мехатронного модуля ерліфтного дозування без відсічних клапанів дози та елементів трубопровідної арматури. Зокрема, похибка точності дозування під час використання сходинок закону керування зміною тиском у системі дозувального ресивера складає 0,8 % від встановленої

дози 50 мл, а під час використання сходинок закону керування зміною тиском в системі дозувального ресивера складає 0,3 %.

#### Література:

1. Kanno T, Hasegawa T, Miyazaki T, Yamamoto N, Haraguchi D, Kawashima K. Development of a Poppet-Type Pneumatic Servo Valve // Appl. Sci. 2018. Vol. 8. Pp. 2094. doi: <https://doi.org/10.3390/app8112094>
2. Kryvoplias-Volodina L, Gavva O, Derenivska A. Optimization of the synthesis of packing machines by the efficiency criteria // Scientific Works of NUFT. Processes and Equipment for Food Industries. 2018. Vol. 24, Issue 5. Pp. 115–124. URL: [https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/10757/3/NUFT\\_2018\\_24%285%29\\_Zmist.pdf](https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/10757/3/NUFT_2018_24%285%29_Zmist.pdf)
3. Aboulhassan M, Souabi S, Yaacoubi A, Baudu M. Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process // International Journal of Environmental Science and Technology. 2006. Vol. 3, No. 4. Pp. 327–332. doi: <https://doi.org/10.1007/BF03325941>
4. Raheman H, Jindal V. Solid velocity estimation in vertical pneumatic conveying of agricultural grains. Applied Engineering in Agriculture. 2001. Vol. 7. Pp. 233–245. doi: 10.13031/2013.6903