

SUBSTANTIATION OF THE PARAMETERS OF THE VALVE-TYPE FEEDER OF THE ADAPTRONIC MODULE FOR DOSING LIQUID PRODUCT

O. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina, Y. Dolomakin, L. Martsynkevych, A. Kokhan
National University of Food Technologies

Key words:

Adaptronic functional module
Cone valve
Simulation model
Geometric parameters
Liquid products
Hydrodynamics
Consumer packaging

Article history:

Received 10.31.2024
Received in revised form 19.07.2024
Accepted 15.08.2024

Corresponding author:

O. Gavva
E-mail:
gavvaoleksandr@gmail.com

Citation: Гавва О. О., Криво-
вопляс-Володіна Л. О., До-
ломакін Ю. Ю., Марцин-
кевич Л. В., Кохан А. А.
(2024). Обґрунтування па-
раметрів живильника кла-
панного типу адаптронно-
го модуля дозування рід-
кої продукції. *Наукові пра-
ці НУХТ*, 30(4), 67—78.
DOI: 10.24263/2225-2924-
2024-30-4-7

ABSTRACT

r automatic machines that perform the function of packaging products in consumer containers, an important criterion of competitiveness is the accuracy of dose formation. Nowadays, there are various ways to increase the accuracy of product dosing. However, as practical experience shows, in the presence of modern computer technologies for managing technological processes, technical means, the best results can be achieved by applying the product weighing method. The process of dynamic weighing is typical for products characterized as a continuous medium. During dynamic weighing, it is important to ensure the desired law of change of the capacity of the feeder. In adaptronic modules for dosing liquid products, the flow is changed using valves, the movement of which is ensured by servo drives. The purpose of the study was to substantiate the geometric and hydrodynamic parameters of the feeder of the adaptronic module for dosing with a valve element for distributing the flow of liquid products.

The methodology for determining the rational values of the geometric and hydrodynamic parameters of the feeder of the adaptronic module for dosing liquid products into consumer containers is described in the article. The geometric parameters of the valve were determined taking into account the law of continuity of the flow of liquid products both in the measuring container and in the nozzle of the feeder.

Based on the results of the simulation, it was established that the rational values of the geometric parameters of cone valves are the angle at the base of the cone $\beta=60^\circ$ and the basic length of the nozzle seat $l_0=15$ mm. These values ensure the minimum geometric parameters of the feeder, the minimum mode of fluid movement, and the implementation of the given law of change of the throughput capacity of the feeder.

The results of simulation modelling of fluid movement in the intervalvular channel made it possible to recommend the use of a specified cone-spherical valve and a nozzle with elongated walls located at an angle β to the base of the cone.

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЖИВИЛЬНИКА КЛАПАННОГО ТИПУ АДАПТРОННОГО МОДУЛЯ ДОЗУВАННЯ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ

О. О. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, Ю. Ю. Доломакін,
Л. В. Марцинкевич, А. А. Кохан

Національний університет харчових технологій

Для машин-автоматів, що виконують функцію пакування продукції у споживчу тару, важливим критерієм конкурентоспроможності є точність формування дози. На сьогодні існують різні шляхи підвищення точності дозування продукції. Однак, як показує практичний досвід, за наявності сучасних комп'ютерних технологій керування технологічними процесами, технічних засобів, найкращих результатів можна досягти, застосувавши метод зважування продукції. Для продукції, що характеризується як суцільне середовище, характерним є процес динамічного зважування. Під час динамічного зважування важливо забезпечити потрібний закон зміни пропускної здатності живильника. В адаптронних модулях дозування рідкої продукції зміна потоку здійснюється за допомогою клапанів, переміщення яких забезпечується сервоприводами. Метою дослідження є обґрунтування геометричних і гідродинамічних параметрів живильника адаптронного модуля дозування з клапанним елементом розподілення потоку рідкої продукції.

У статті наведено методику визначення раціональних значень геометричних і гідродинамічних параметрів живильника адаптронного модуля дозування рідкої продукції у споживчу тару. Геометричні параметри клапана визначалися з урахуванням закону неперервності потоку рідкої продукції як в мірній ємкості, так і в насадці живильника.

За результатами імітаційного моделювання встановлено, що раціональними значеннями геометричних параметрів конусних клапанів є кут при основі конуса $\beta=60^\circ$ та базова довжина сидла насадки $l_0=15$ мм. Ці значення забезпечують мінімальні геометричні параметри живильника, ламінарний режим руху рідини та реалізацію заданого закону зміни пропускної здатності живильника.

Результати імітаційного моделювання руху рідини в міжклапанному каналі надали можливість рекомендувати використовувати зрізаний конусно-сферичний клапан і насадку з подовженими стінками, розташованими під кутом β до основи конуса.

Ключові слова: адаптронний функціональний модуль, конусний клапан, імітаційна модель, геометричні параметри, рідка продукція, гідродинаміка, споживча тара.

Постановка проблеми. Пакувальні машини-автомати сьогодення є багатофункціональним обладнанням із синергетично пов'язаними функціональними модулями, керування якими здійснюється централізовано адаптронними системами.

Для машин-автоматів, що виконують функцію пакування продукції у споживчу тару, важливим критерієм конкурентоспроможності є точність дозування. Похибка дозування, для значної частини різних видів харчових продуктів, залежить від способу формування дози та конструкції модулів дозування. Вимоги міжнародних і вітчизняних стандартів щодо забезпечення точності формування дози продукції постійно підвищуються, забезпечуючи вимоги споживача. Існують різні шляхи досягнення цих вимог, однак, як показує практичний досвід, за наявності сучасних технічних засобів і комп'ютерних технологій найкращих результатів можна досягти, застосувавши метод зважування продукції. У свою чергу, зважування умовно можна поділити на статичне та динамічне при формуванні дози як всієї величини, так і її частини (порції). В пакувальних машинах великої продуктивності для продукції, яку можна прийняти як суцільне середовище (рідка, в'язко-пластична продукція тощо), здебільшого застосовують ваговий спосіб дозування при формуванні дози всієї величини. За таких умов відбувається динамічне зважування (зміна маси і зусилля на зважувальну систему в часі). Під час динамічного зважування важливо обґрунтовано прийняти геометричні та кінематичні параметри елементів пристроїв живлення, за допомогою яких можна мінімізувати динамічну складову абсолютної похибки.

За умови необґрунтованого прийняття параметрів адаптронного модуля дозування похибка може перевищувати 5—7%, що недопустимо при пакуванні харчової продукції. А тому пошук раціональних значень параметрів адаптронних модулів дозування продукції, в тому числі і рідкої, є актуальним завданням, що потребує наукового вирішення й ефективної реалізації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток комп'ютерних технологій керування технологічними процесами, створення адаптронних функціональних модулів призводять до того, що все частіше на ринку машин пакування харчових продуктів представлені машини з ваговим способом формування дози. Функціональні модулі, що реалізують ваговий спосіб дозування, мають структуру, що включає: пристрій живлення, зважувальну систему, блок контролю потоку продукції живильником і блок контролю сили, що діє на зважувальну систему. Формування дози продукції ваговим способом досліджено для легкоплинної сипкої продукції, яка за структурно-механічними властивостями наближена до ідеальної ньютонівської рідини (Badiru, & Omitaomu, 2023). Встановлено, що на динамічну складову сили зважування суттєво впливає режим потоку живлення. Для оптимізації операції дозування і фасування по її тривалості й точності формування дози важливо забезпечити відповідний закон зміни пропускної здатності живильника (Rangappa, 2020). Це завдання вирішують за допомогою регульованої клапанної системи, пневматикою, керованою запірною арматурою (Gavva, Kryvolpias-Volodina, & Derenivska, 2021; Bauer, 2019). В існуючих конструкціях машин пакування рідкої продукції у споживчу тару широко використовують клапанну систему з індивідуальним приводом на клапані та мікропроцесорною системою керування переміщення клапана відносно сідла насадки (Гавва, & Кривопись-Володіна, 2023). З'ясовано, що ефективною геометричною формою клапана є конусна, тому що забезпечує достатній хід клапана для реалізації заданого закону

зміни пропускної здатності. Моделюванню подібних процесів приділяється значна увага (Vazquez-Santacruz, 2023). Однак існуючі методики не можуть забезпечити повноту розрахунку живильника.

Гідродинамічні процеси в кульовому крані чисельно досліджені за допомогою моделювання обчислювальної гідродинаміки (CFD) (Lu, Cao, & Qi, 2018; Yousaf, Qaisrani, & Tahir, 2022). При цьому розглядалися тільки кавітаційні явища в момент закриття та відкриття клапана. Експериментальні дослідження дросельних затворів (Kim, Yoon, & Shin, 2010) дали змогу провести порівняння ефективності виконання ними функцій. Однак ці результати досліджень не забезпечують регулювання величини пропускної здатності клапанних або кранових систем.

У (Tacose, 2022) розглядаються завдання багатокомпонентного дозування. Для вирішення таких завдань потрібно розглядати метод одночасного порційного дозування складових багатокомпонентних продуктів із заданим вмістом компонентів. У праці (Sukhareva, & Yakovlev, 2018) розглядаються відомі порційні дозувальні функціональні модулі. Результати цих досліджень також не направлені на формування потоку рідкої продукції заданої пропускної здатності. В працях (Vavrik, & Fusko, 2022; Furmann, 2017) автори зазначають, що при раціональному підборі живильника зважувальної системи дозування ваговим способом є більш точним і надійним порівняно з об'ємним. Наведені результати досліджень не надають кінцевих рекомендацій щодо конструкції живильника, методики регулювання потоком продукції. Проведений аналіз результатів виконаних досліджень підтвердив їх недостатність для створення нових зразків адаптронних модулів дозування рідкої продукції, в яких передбачено регулювання потоку продукції клапанним елементом.

Метою дослідження є обґрунтування геометричних і гідродинамічних параметрів живильника адаптронного модуля дозування з клапанним елементом розподілення потоку рідкої продукції.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження є живильник з клапанним елементом розподілу потоку рідкої продукції в адаптронному модулі дозування. Предметом дослідження є геометричні параметри живильника та гідродинамічні режими переміщення потоку продукції по каналах живильника.

Для встановлення функціональної залежності між геометричними параметрами живильника з клапанною системою розподілення потоку рідкої продукції та гідродинамічними характеристиками руху рідини в каналах живильника використано комплексний підхід, що базується на аналітичному та імітаційному моделюванні геометрії живильника й руху продукції в його каналах.

Основні припущення під час моделювання:

- рідка продукція за фізико-механічними властивостями наближена до ньютонівських рідин;
- під час переміщення рідини по каналах живильника потік є неперервним і описується основним рівнянням Нав'є-Стокса;
- клапанний елемент є достатньо жорстким, щоб під дією тиску продукції не змінювалися його геометричні параметри;
- геометрична форма клапана, прийнятого для досліджень, відповідає конусній поверхні.

Для досягнення сформульованої мети дослідження передбачено вирішення таких завдань:

- побудова розрахункової схеми й обґрунтування геометричних параметрів живильника з клапанними елементами розподілу потоку рідкої продукції;
- побудова графічної моделі живильника з клапанним елементом розподілу потоку рідкої продукції та розміщення її в систему Flow Simulation програми Solid-Works;
- прийняття вихідних даних гідродинамічної моделі в системі Flow Simulation і проведення імітаційного моделювання руху рідини в каналах живильника адаптронного модуля дозування;
- узагальнення результатів аналітичного та імітаційного моделювання раціональної конструкції живильника й руху рідини в ньому.

Викладення основних результатів дослідження. З точки зору ефективного регулювання потоку рідкої продукції в живильнику адаптронного модуля дозування є застосування клапана конічної форми.

Для забезпечення раціональних значень геометричних параметрів живильника, реалізації потрібної зміни пропускної здатності живильника, усунення нестаціонарних режимів переміщення продукції важливо визначити раціональні параметри клапана. Живильник для рідкої продукції адаптронного модуля з конусним клапаном складається з мірного циліндра 1, насадки 2 та клапана 3 (рис. 1). Клапан 3 через шток кінематично зв'язаний із короткоходовим сервоприводом (пнеумо, електропривод). Верхня внутрішня частина насадки виконує функцію сідла. Кут β при основі конусного сідла та довжина l_0 бази сідла є базовими при визначенні раціональних параметрів живильника.

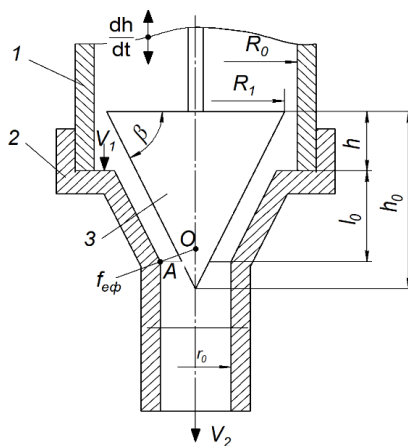


Рис. 1. Розрахункова схема живильника адаптронного модуля дозування з конусним клапаном регулювання потоку рідкої продукції: 1 — мірний циліндр; 2 — насадка; 3 — конусний клапан

Внутрішній діаметр насадки d_0 визначають з урахуванням рекомендацій: $v_{2max} \sim$ до 2 м/с для холодних рідин; $v_{2max} \sim 3$ м/с для гарячих рідин. А також за умови забезпечення продуктивності дозувального модуля, тобто забезпечення максимальної пропускної здатності Q_{max} :

$$d_0 = 2r_0 = 2(Q_{\max}/\pi \cdot v_{2\max})^{0.5}. \quad (1)$$

Геометричні параметри конусного клапана можна визначити за такими залежностями:

$$R_1 = r_0 + l_0 / \operatorname{tg} \beta; \quad (2)$$

$$h_0 = r_0 \operatorname{tg} \beta + l_0, \quad (3)$$

де R_1 — радіус основи конусного клапана; h_0 — висота конусного клапана.

Мінімальне значення радіуса внутрішньої порожнини мірного циліндра R_0 визначимо з умови рівності пропускної здатності насадки і каналу між клапаном і внутрішньою поверхнею мірного циліндра:

$$R_{0\min} = (r_0^2 + R_1^2)^{0.5}. \quad (4)$$

Максимально необхідне переміщення конусного клапана визначимо з умови рівності пропускної здатності всіх каналів живильника:

$$h_{\max} = r_0 (\operatorname{tg} \beta - \sin \beta). \quad (5)$$

Тобто хід конусного клапана знаходиться в межах $0 \leq h \leq h_{\max}$.

Пропускна здатність клапанної системи визначається в перерізі клапанного каналу, де ефективна площа, за будь якого значення h , є найменшою. Відповідно до розрахункової схеми це площа в точці A по нормалі до поверхні конусного клапана.

Визначити цю площу можна за формулою:

$$f_{\text{ef}} = (\pi / \sin^2 \beta) \cdot [r_0^2 - (r_0 \operatorname{tg} \beta - h)^2 / \operatorname{tg}^2 \beta]. \quad (6)$$

Графічна інтерпретація зміни f_{ef} від висоти переміщення клапана наведена на рис. 2.

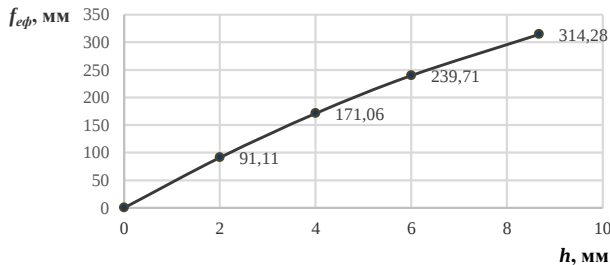


Рис. 2. Зміна ефективної площі поперечного перерізу рідинного каналу живильника з конусним клапаном ($\beta = 60^\circ$; $r_0 = 10$ мм) від ходу переміщення клапана

За відомих значень ефективної площі перерізу каналу рідкої продукції та її середньої швидкості переміщення можна визначити пропускну здатність живильника при різних положеннях клапана:

$$Q_A = f_{\text{ef}} v_A = (\pi / \sin^2 \beta) \cdot [r_0^2 - (r_0 \operatorname{tg} \beta - h)^2 / \operatorname{tg}^2 \beta] v_A. \quad (7)$$

Середня швидкість переміщення в каналах живильника визначається на основі розв'язку рівнянь гідродинаміки здебільшого числовими методами. Враховуючи складний профіль рідинного каналу між клапаном і сідлом насадки за середню швидкість приймаємо швидкість руху рідини по центру каналу.

Забезпечення високих показників точності дозування ваговим способом досягається зміною пропускної здатності живильника від $Q_{\max}$ до $Q_{\min}$ в часі. Закон зміни пропускної здатності живильника залежить від величини дози, конфігурації

споживчої упаковки, продуктивності машини-автомата або адаптронного модуля дозування, а також від фізико-механічних властивостей рідкої продукції.

За відомого закону зміни пропускної здатності живильника можна визначити закон зміни положення клапана відносно сідла, тобто

$$dQ_A/dt = d/dt[\pi/\sin^2\beta \cdot (r_0^2 - (r_0 \operatorname{tg}\beta - h)^2/\operatorname{tg}^2\beta)]v_A; \quad (8)$$

$$dh/dt = f(dQ_A/dt). \quad (9)$$

Вплив геометричних параметрів клапана β та сідла насадки l_0 на гідродинамічні характеристики руху рідини в живильнику при змінній величині h визначався за допомогою пакета програми SolidWorks в підпрограмі Flow Simulation. Для імітаційного моделювання руху рідини в міжклапанному каналі в цій же програмі виконано графічну модель живильника із змінними геометричними параметрами (β , R_1 , l_0 , R_0) та при сталому значенні r_0 . За вихідні дані розрахунків прийнято: рідина — вода столова; внутрішній діаметр насадки $d_0=20$ мм; витрати рідинної продукції живильником 1 000 000 мм³/с.

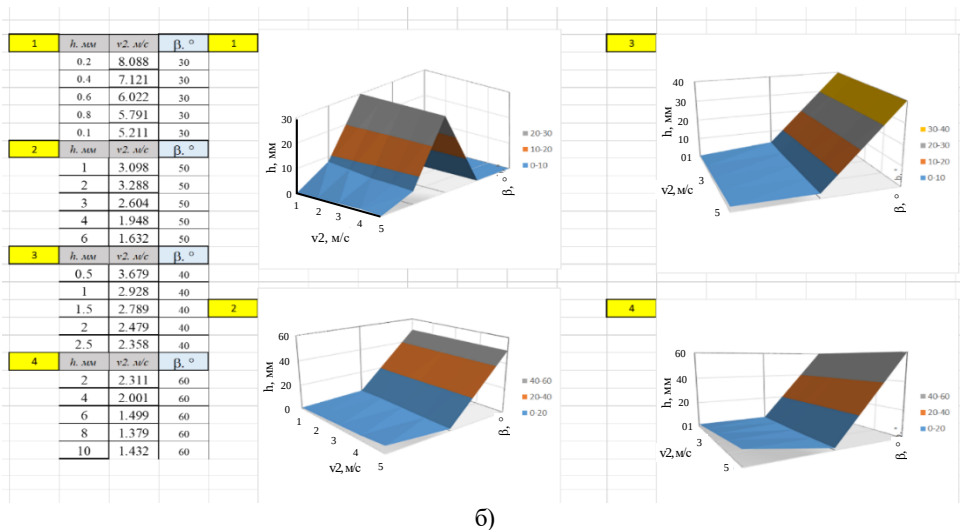
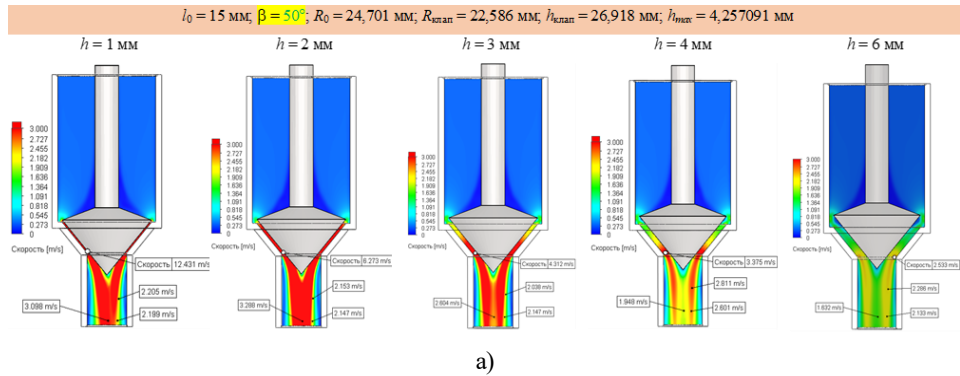


Рис. 3. Зміна поля векторів швидкості переміщення рідкої продукції в міжклапанному каналі живильника: а) результати комп'ютерних розрахунків при $\beta=50^\circ$, $l_0=15$ мм та змінному h ; б) графічна інтерпретація результатів імітаційного моделювання

Імітаційне моделювання руху рідини в міжклапанному каналі живильника виконано за таких умов:

- при сталому значенні $l_0 = 15$ мм кут β в основі конуса клапана змінювався в межах від 30° до 60° ;

- при сталому значенні $\beta = 60^\circ$ змінювалася база сідла клапана l_0 від 5 мм до 25 мм.

Прийняті обмеження на параметри β та l_0 відповідають реально діючим конструкціям живильників.

Одержані результати розрахунків — це поле векторів швидкості переміщення рідкої продукції (рис. 3 та 4).

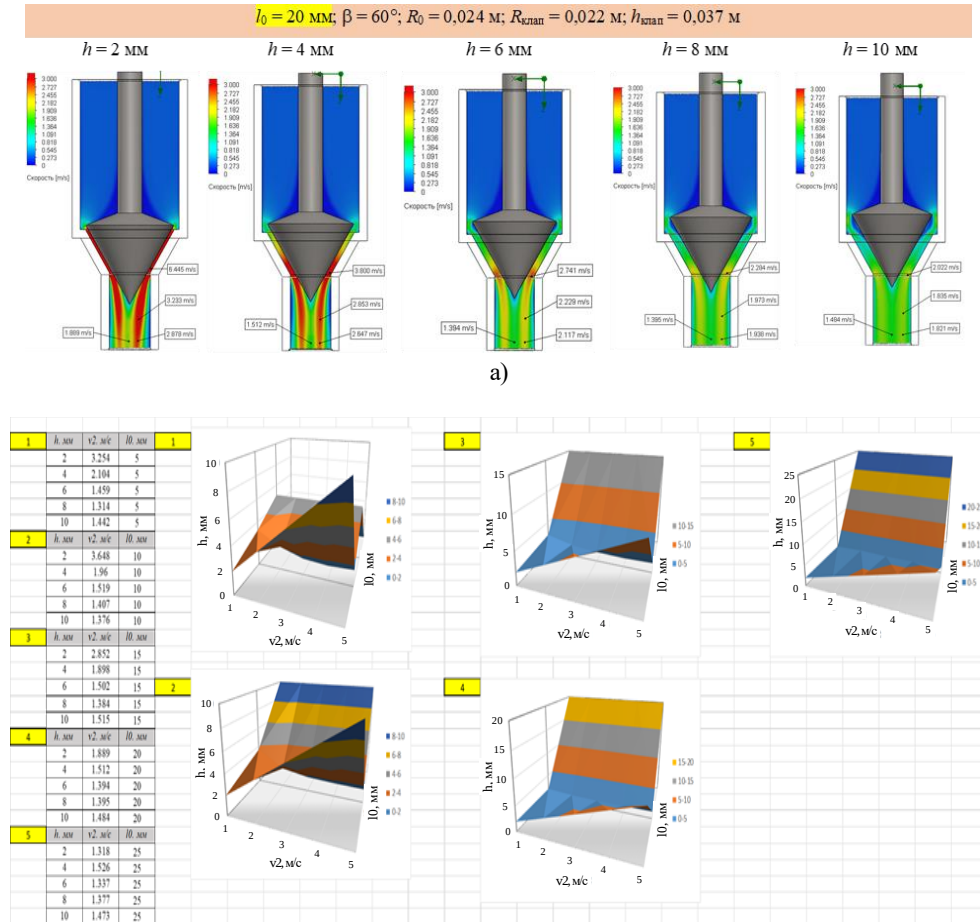


Рис. 4. Зміна поля векторів швидкості переміщення рідкої продукції в міжклапанному каналі живильника: а) результати комп'ютерних розрахунків при $\beta = 60^\circ$, $l_0 = 20$ мм та змінному h ; б) графічна інтерпретація результатів імітаційного моделювання

За результатами імітаційного моделювання руху рідини в міжклапанному каналі встановлено, що раціональними значеннями геометричних розмірів клапана

є: $\beta=60^\circ$ та $l_0=15$ мм. За цих значень відносно найменші габарити живильника (забезпечують задану продуктивність адаптронного модуля) та при різних положеннях клапана $0 \leq h \leq h_{\max}$ можна одержати ламінарний режим течії не тільки в насадці, але й у каналах. Забезпечення ламінарного режиму течії рідкої продукції надає можливість зменшити динамічну складову похибки дозування та мінімізувати піноутворення, захоплення рідиною повітря. За конкретних значень геометричних параметрів живильника та за графічною інтерпретацією результатів імітаційного моделювання можна визначити зміну швидкості руху рідини в клапанному каналі живильника. Ця залежність важлива при визначенні і реалізації закону руху клапана на різних стадіях формування дози.

Результати імітаційного моделювання руху рідини в живильнику надають можливість удосконалити конструкцію клапана. Так, на рис. 3 та 4 видно, що при виконанні основи клапана плоскою в місці його контакту зі штоком виникають зворотні потоки рідини. Для усунення цього явища поверхню основи конуса доречно виконувати або у вигляді зворотного конуса, або випуклої та увігнутої сфери (рис. 5).

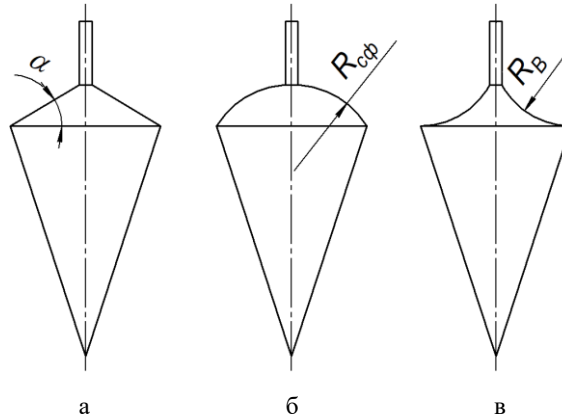


Рис. 5. Виконання основи конусного клапана із: а) зворотнім конусом; б) випуклою сферою; в) увігнутою сферою

Результати імітаційного моделювання руху рідини в живильнику, за наявності клапанів трьох видів (рис. 6), показали, що найкращий ефект усунення зворотних потоків можна одержати, коли основа клапана виконана у вигляді випуклої сфери, при цьому $R_{сф}=R_1$.

Поряд із цим на рис. 3 та 4 видно, що в місцях входження рідини в клапанний канал та виходу її з нього в насадку є ознаки формування перехідних або турбулентних режимів руху.

Для усунення цих явищ доречно (рис. 7):

- верхню частину сідла подовжити до контакту з внутрішньою поверхнею мірної ємкості живильника;

- конусний клапан виконати зрізаним, висоту якого можна визначити з умови:

$$h'_0 = l_0 + h_{\max} = l_0 + r_0(\operatorname{tg}\beta - \sin\beta). \quad (10)$$

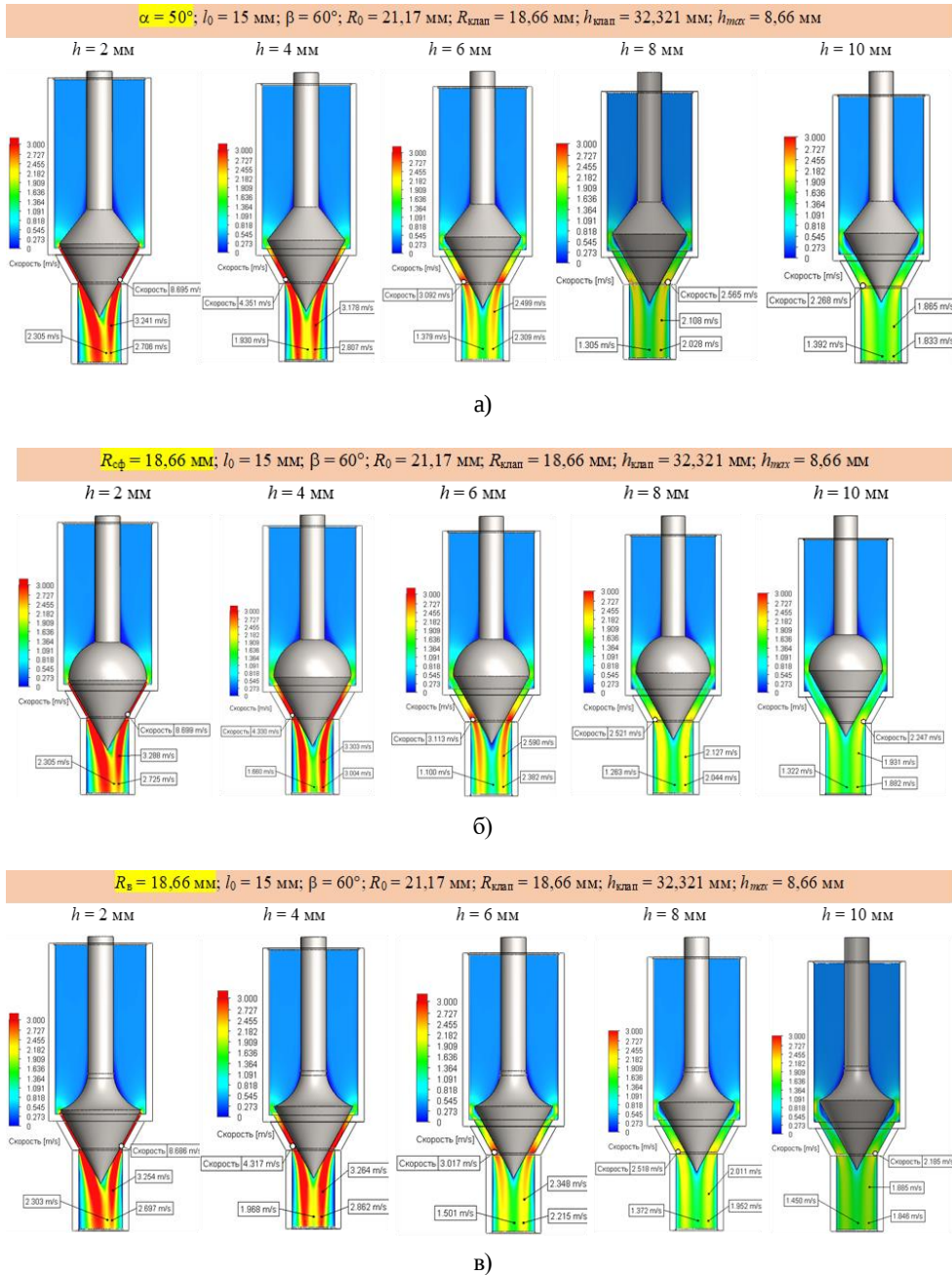


Рис. 6. Зміна поля векторів швидкості переміщення рідкої продукції в міжклапанному каналі живильника при виконанні основи конусного клапана у вигляді: а) зворотного конуса; б) випуклої сфери; в) увігнутої сфери

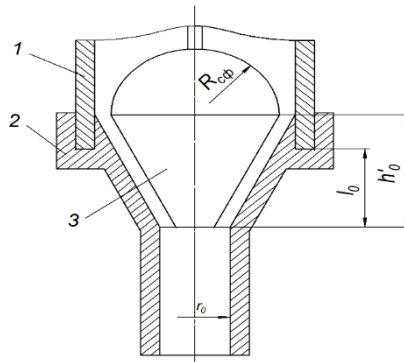


Рис. 7. Удосконалена конструкція живильника адаптронного модуля дозування рідкої продукції: 1 — мірна ємність; 2 — насадка; 3 — конусно-сферичний клапан

Висновки

1. На основі закону неперервності потоку рідкої продукції як у мірній ємності, так і в насадці живильника та прийнятої розрахункової схеми розроблені аналітичні залежності для визначення значень геометричних параметрів клапана конусного типу й максимального його переміщення для реалізації заданої зміни пропускної здатності міжклапанного каналу.

2. Розроблена геометрична модель клапанного живильника трансформована в підпрограму Flow Simulation програми SolidWorks для числового вирішення гідродинамічної задачі щодо переміщення рідкої продукції в клапанних каналах живильника. За вихідні дані прийнято: $d_0=20$ мм; β змінюється в межах $30^\circ \dots 60^\circ$; l_0 — в межах $5 \dots 25$ мм; досліджуваною рідиною є вода столова; пропускна здатність живильника — $1\,000\,000$ мм³/с. Прийняті для дослідження значення параметрів відповідають реальним конструкціям адаптронних модулів дозування рідкої продукції.

3. За результатами імітаційного моделювання встановлено, що раціональними значеннями геометричних параметрів конусних клапанів є $\beta=60^\circ$ та $l_0=15$ мм. Ці значення забезпечують мінімальні геометричні параметри живильника, ламінарний режим руху рідини, реалізацію заданого закону зміни пропускної здатності живильника.

4. Результати імітаційного моделювання виявили зони можливих турбулентностей потоку продукції, а тому запропоновано використовувати зрізаний конусно-сферичний клапан та насадку виготовляти з подовженими стінками, розташованими під кутom β до основи конуса.

5. У подальшому цей напрямок потребує розширення досліджень для рідкої харчової продукції з різними структурно-механічними властивостями.

Література

Гавва, О. О., Кривопляс-Володіна, Л. О. (2023). Обґрунтування режимів роботи адаптронних функціональних модулів дозування рідкої продукції ваговим способом. *Наукові праці НУХТ*, 29(5), 66—76. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-5-7.

- Badiru, A. B., Omitaomu, O. A. (2023). *Systems 4.0: Systems Foundations for Industry 4.0* (1sted.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.1201/9781003312277>.
- Bilal Yousaf, Mumtaz A. Qaisrani, Muhammad Ijaz Khan, Muhammad Sana Ullah Sahar, Waqas Tahir. (2022). *Nonlinear Engineering*. <https://doi.org/10.1515/nleng-2021-0044>.
- Bauer, E. (2019). *Pharmaceutical Packaging Handbook* (2st ed.). CRC Press. doi: <https://doi.org/10.3109/9781420012736>.
- Gavva, O., Kryvoplias-Volodina, L., Blazhenko, S., Tokarchuk, S., Derenivska, A. (2021). Synthesis of a precision dosing system for liquid products based on electro-pneumatic complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* *this link is disabled*, 6(2—114), 125—135. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.247187>.
- Kim, C. K., Yoon, J. Y., Shin, M. S. (2010). *Experimental study for flow characteristics and performance evaluation of butterfly valves*. 25th IAHR Symposium on Hydraulic Machinery and Systems IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 12, 012098 doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/12/1/012098>.
- Lu, S., Cao, G., Zheng, H., Li, D., Shi, M., Qi, J. (2018). Simulation and Experiment on Droplet Formation and Separation for Needle-Type Micro-Liquid Jetting Dispenser. *Micromachines*, 9(7), 330. doi: [10.3390/mi9070330](https://doi.org/10.3390/mi9070330).
- Radovan, Furmann (2017). Interactive Design of Reconfigurable Logistics Systems — Process Intensification. *Procedia Engineering*, 192, 207—212. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.036>.
- Rangappa, S. M., Parameswaranpillai, J., Thiagamani, S. M. K., Krishnasamy, S., Siengchin, S. (Eds.). (2020). *Food Packaging: Advanced Materials, Technologies, and Innovations*.
- Sukhareva, N., Yakovlev, F., (2018). *Polymers for Packaging and Containers in Food Industry*. doi: <https://doi.org/10.1201/b12240>.
- Tomoki, Takase (2022) Evaluating the safety and efficiency of robotic dispensing systems. *Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 8(1). doi: <https://doi.org/10.1186/s40780-022-00255-w>.
- Vavrik, V., Fusko, M. (2022). Designing of Machine Backups in Reconfigurable Manufacturing Systems. *Appl. Sci.*, 12, 2338. doi: <https://doi.org/10.3390/app12052338>.
- Vazquez-Santacruz, J. A. (2023). *Towards an integrated design methodology for mechatronic systems*. Research in Engineering Design. Springer-Verlag London Ltd. doi: <https://doi.org/10.1007/s00163-023-00416-4>.