

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ В'ЯЗКИХ МОЛОЧНИХ ПРОДУКТІВ З МЕТОЮ ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ФАСУВАЛЬНОГО АВТОМАТУ М-2

Волинець Н.С., Федоров С.Ф.

---

### THE RESEARCH PROCESS DISPENSING VISCOUS DAIRY PRODUCTS TO IMPROVE THE DESIGN OF PACKAGING MACHINE M-2

Natalie Volunetz, Sergey Fedorov

National University of food technologies, Kyiv, Ukraine

*Using the method of expert valuations the most significant factors affecting the dose of sour cream process are identified, a mathematical dependence dose rate of the most important factors with the help of active multifactor experiment is received. Using the program FlowVision dosing and filling cup of sour cream are simulated and the speed of its movement by changing the diameter of the nozzle, the pressure in the working cylinder and molecular viscosity products are determined. A modernization of the machine to increase its productivity, which includes doubling the working mechanisms and improving the design of dosing device are proposed.*

**Keywords:** dosage, sour cream, factors, modeling, dosing device.

---

**Вступ.** В молочній промисловості для фасування в'язких молочних продуктів застосовують автомати лінійного та карусельного типу. Автомати карусельного типу більш компактні, а лінійного мають більшу продуктивність.

Одним з найважливіших пристроїв в автоматах фасування є дозатор. Від правильності його вибору часто залежить безперервність циклу упаковки продукції та швидкість упакування. Розрізняють дозатори об'ємні та вагові. Об'ємні дозатори, які нескладні за конструкцією і відрізняються досить високою надійністю, застосовуються для дозування рідких продуктів. Вагові дозатори характеризуються великою точністю і використовуються для дозування твердих і сипких, особливо дрібно штучних матеріалів, іноді для дозування рідин. Серед недоліків вагових дозаторів на першому місці швидкість роботи, яка, порівняно з об'ємним дозатором, фактично в 4 рази менша. Другим істотним недоліком є ціна, яка на 15 % вища, ніж у об'ємних дозаторів.

Автомат карусельного типу для фасування в'язких та рідких продуктів М-2, обраний для дослідження і модернізації, оснащений дозатором об'ємного типу і має притаманний таким конструкціям недолік – порівняно велику похибку дозування, а також невелику продуктивність. Фасувальний автомат складається зі станини, карусельного стола, механізму видачі стаканчиків, дозатора, механізмів зварювання, накладання кришок, нанесення дати, відведення наповнених стаканчиків та пульта керування. Всі механізми машини змонтовані навколо карусельного столу з гніздами під стаканчики, який покровоно обертається навколо своєї осі. Покровоно обертання карусельного столу здійснюється за допомогою храпового колеса, яке повертається на заданий крок завдяки ходу штоку пневмоциліндра.

**Методи досліджень.** Фактори, які впливають на процес дозування в'язких молочних виробів, визначено методом експертних оцінок. Процес промодельовано в

пакеті Flow Vision, в якому використано метод кінцевих об'ємів (обрана модель «нестискувана рідина»). З використанням повного багатofакторного експерименту отримано рівняння регресії, яке пов'язує швидкість дозування з факторами, що найбільше впливають на неї.

Встановлено, що найбільш значущими факторами, які впливають на процес дозування сметани дозуючим пристроєм, є: молекулярна в'язкість (інтервал варіювання 2,8 – 3,3 Па·с), діаметр насадки (інтервал варіювання 0,013 – 0,015 м), тиск, необхідний для переміщення поршня (інтервал варіювання 90000 – 105000 Па).

При моделюванні задано крайові умови: геометричну модель дозуючого пристрою і стаканчика створено в програмі Компас 3Д V12 (рис.1); граничні умови: швидкість витікання сметани з дозуючого каналу – 0,45 м/с, тиск, необхідний для переміщення поршня: 90000 – 105000 Па; реологічні умови продукту: густина 980 кг/м<sup>3</sup>; молекулярна в'язкість 3,227 Па·с.

Дозатор працює наступним чином: з трубопроводу продукт подається в бункер, з якого при повороті кільця надходить далі в мірний циліндр і за допомогою пневмоцилиндра видаляється в стаканчик.

**Результати та обговорення.** Аналіз конструкції і технічних характеристик фасувального автомата показав, що автомат має не досить велику продуктивність (25 уп/хв) і не може забезпечити потреби сучасних молокопереробних підприємств. Усунути цей

недолік пропонується шляхом подвоєння таких механізмів: подачі стаканчиків, дозатора, механізмів подачі кришечок, зварювання та нанесення дати. Запропоновані заходи потребують внесення змін до конструкції карусельного столу, що дозволить перебувати в зонах проведення відповідних операцій (подачі, наповнення, подачі кришечок, зварювання, нанесення дати, зштовхування зі столу), не одного, а одразу двох стаканчиків.

На початку роботи фасувального автомата відсікачі відділяють з касети стаканчиків два стаканчики; при цьому підйомний столик опускає стаканчики в комірки карусельного столу. При повороті карусельного столу на дві позиції порожні стаканчики потрапляють в зону дії дозатора. З бункера продукт надходить в поршневий дозатор, де здійснюється об'ємне дозування. Потім стаканчики, заповнені продуктом, через дві позиції, потрапляють в зону дії механізму накладання кришок з алюмінієвої фольги. Вакуум-захват механізму подачі кришок відділяє по одній кришечці від загальної стопки і, повернувшись на 180°, накладає її на верхній борт стаканчика. Далі стаканчики повертаються ще на дві позиції і потрапляють в зону приварювання кришок до стаканчиків. Це відбувається завдяки пневмоциндру, який притискує зварювальну головку до стаканчика з кришкою. Зварювальна головка забезпечує температуру плавлення стаканчика. Далі стаканчики повертаються ще на дві позиції і потрапляють в зону дії механізму нанесення дати на кришку, а потім, пройшовши ще дві позиції, стаканчик потрапляє в зону вивантаження. Це відбувається наступним чином:

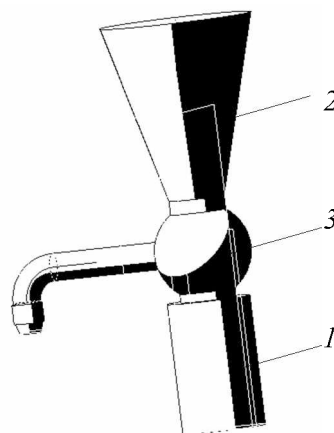


Рис. 1. Дозатор:  
1- пневмоциліндр; 2 – бункер для сметани, 3 – кран.

підйомний столик піднімає стаканчик, і відповідна рейка зіштовхує стаканчики на приймальний стіл. Далі через 2,4 сек. на стіл зіштовхується наступні два стаканчики, і цикл повторюється.

Також пропонується замінити механізм піднімання стаканчиків перед виштовхуванням з робочого столу на менш енерговитратну, більш просту (не потребує додаткового приводу чи пневмоциліндра) і дешевшу конструкцію. Реалізувати ці пропозиції можна за рахунок встановлення важільного механізму, який працює наступним чином: при повороті карусельного столу ролик, закріплений в нижній його частині, буде натискати на одне плече важеля, а інше в свою чергу рухатиме пуансон, які виштовхуватимуть стаканчики.

Інша проблема, яка виникає при експлуатації фасувального автомата М-2, – невисока точність дозування. Вона, певною мірою, обумовлена недосконалою конструкцією клапана дозатора (див. рис.1), який не забезпечує необхідний тиск. Саме це обумовлює необхідність дослідження процесу дозування і виявлення факторів, від яких він залежить.

В результаті моделювання процесу дозування сметани в дозуючому пристрої фасувального автомата в програмі FlowVision отримано поля тиску, турбодисипації та вектори швидкостей (рис.2).

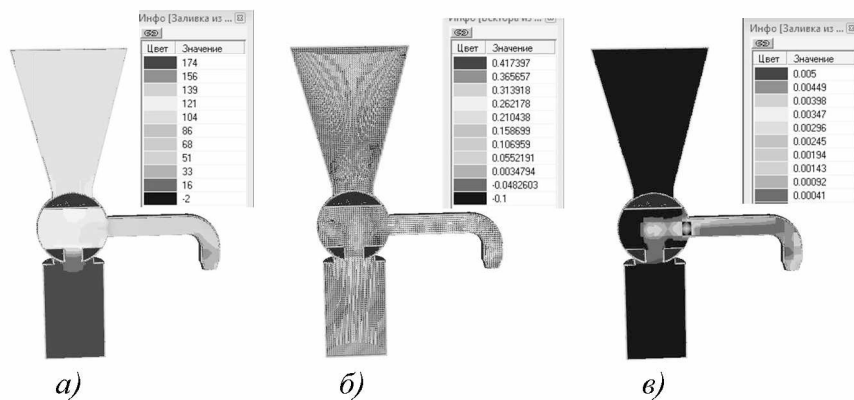


Рис. 2. Результати моделювання: а) поле тиску, б) вектори швидкостей; в) поле турбодисипації енергії.

Максимальні значення тиску спостерігаються в нижній частині циліндра (див. рис. 2-а), оскільки в цій зоні мінімальна швидкість (за законом Бернуллі тиск знаходиться в оберненій залежності від швидкості). На виході з дозуючого пристрою тиск мінімальний, тоді як швидкість в цій зоні максимальна (див. рис. 2-б). Внесення змін в конструкцію дозуючого пристрою, а саме заміна клапана, призводить до збільшення швидкості витікання рідини з дозатора порівняно з базовим варіантом. Це спричиняється тим, що на шляху рідини з'являється додатковий опір (труба меншого діаметру), тобто через одиницю площі проходить більший об'єм рідини. Аналогічний розподіл швидкості характерний для ділянки надходження в'язкої рідини з приймального бункера в циліндр. З рис. 2-б також видно, що завихрення, яке призводить до додаткового перемішування, відбувається над корпусом мірного циліндра.

Проаналізовано також показники турбодисипації енергії (рис.2-в). Її величина незначна, тому додаткового нагрівання продукту не відбувається.

На основі проведених досліджень була поставлена задача отримати математично-статистичну модель залежності швидкості дозування сметани від молекулярної в'язкості, діаметру насадки і тиску, необхідного для переміщення поршня. З цією метою проведено повний активний багатофакторний експеримент, вихідні дані наведено в табл. 1.

**Таблиця 1.**  
**Умови проведення експериментів**

Рівні варіювання факторів	$x_1$ ( $\mu$ , Па·с)	$x_2$ ( $d$ , м)	$x_3$ ( $P$ , Па)
Верхній рівень (+)	3,30	0,015	105000
0-рівень ( $X_{0i}$ )	3,05	0,014	97500
Нижній рівень (-)	2,80	0,013	90000
Крок варіювання ( $\lambda_i$ )	0,25	0,001	7500

Після опрацювання результатів в програмі EXPER2 отримали рівняння регресії, адекватність якого підтверджена за критерієм Фішера:

$$y = -0.3904 \cdot x_1 + 169.2 \cdot x_2 - 0.0001455 \cdot x_3 + 0.0879 \cdot x_1 \cdot x_3 - 0.1522 \cdot x_2 \cdot x_3 - 5.401$$

З використанням математичної моделі знайдено швидкість дозування сметани 15% жирності при сталій молекулярній в'язкості (3,3 Па·с) і тиску (0,1 МПа (табл. 2).

**Таблиця 2.**  
**Швидкість дозування сметани**

Діаметр насадки $d$ , м	0,015	0,0147	0,0144	0,0141	0,0138	0,0135	0,0132	0,013
Швидкість дозування, $U$ , м/с	2,82	2,46	2,10	1,74	1,38	1,02	0,66	0,11

За допомогою програми Excel побудовано графік (рис.3) і знайдено залежність швидкості руху сметани від діаметра насадки:

$$v = 1283.4 \cdot d - 16.38$$

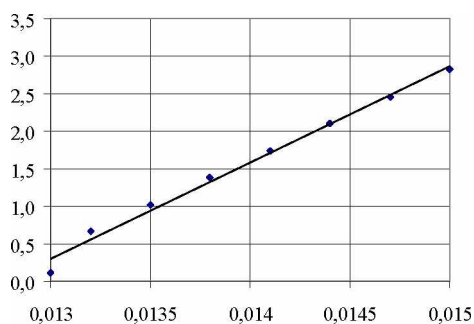


Рис.3. Залежність швидкості руху сметани від діаметра насадки.

## —Процеси та обладнання харчових виробництв —

Знаючи об'єм стаканчика, який необхідно наповнити, можна обчислити швидкість його наповнення (при сталому часі наповнення 2,4 с) та підібрати за допомогою вище наведеного графіка діаметр насадки.

**Висновки.** Факторами, які найбільш суттєво впливають на процес дозування сметани, є: молекулярна в'язкість, діаметр насадки і тиск, необхідний для переміщення поршня. Внесення змін в конструкцію автомата, а саме заміна клапана, покращує процес дозування. Реалізація запропонованої модернізації потребує відносно невеликих матеріальних витрат і не є трудомістким, адже передбачає лише подвоєння вже існуючих пристроїв та встановлення простого механізму піднімання стаканчиків, який дозволяє зменшити витрати по обслуговуванню автомата для фасування в'язких та рідких продуктів.

### *Авторська довідка.*

*Волинець Наталія Сергіївна, магістр зі спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв»,  
Національний університет харчових технологій, тел. 099-927-56-43*

*Федоров Сергій Федорович, к.т.н., кафедра машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв,  
Національний університет харчових технологій*

*Надійшла до редакції 14.05.2012*

*Надійшла після рецензування 18.05.2012*