

УДК 664.002.5

ВПЛИВ КОЕФІЦІЄНТІВ МІСЦЕВИХ ОПОРІВ РОЗЛИВНОЇ СИСТЕМИ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ДОЗУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Змєєва І. М., інженер,

Кюрчев С. В., к.т.н.,

Ялпачик Ф. Ю., к.т.н.,

Стручаєв М. І., к.т.н.

Таврійський державний агротехнічний університет

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – в роботі проаналізовано вплив коефіцієнтів місцевих опорів розливної системи на продуктивність дозуючого пристрою.

Ключові слова - рідкі харчові продукти, дозувальні машини, продуктивність, коефіцієнт витрат, місцеві опори, розливна система.

Постановка проблеми. У харчовій промисловості фасування підготовленого продукту в консервну тару – один з основних процесів технологічної лінії розливу харчових рідин. Подачу в тару визначеної кількості харчової рідини здійснює машина для розливу харчових рідин, яка відділяє, або відміряє від загального об'єму продукту порцію або дозу і передає в тару. Одним із головних вузлів машини є дозуючий пристрій, який виконує основну технологічну операцію – наповнення ємностей рідиною.

Фасування харчових рідин може відбуватися у різних умовах у залежності від властивостей продукту та вимог, які визначають процес фасування. Пропускна спроможність дозуючого пристрою безпосередньо впливає на продуктивність машини, а також і на продуктивність лінії в цілому. Взаємодія потоку рідини з конструкцією дозуючого пристрою, а, основним чином, з конструкцією випускної щілини, в значній мірі визначає технологічність розливу.

Аналіз останніх досліджень. Продуктивність розливального автомату залежить від конструктивних елементів, кінематики механізмів та гідравлічних параметрів системи [1-3]. Важливим параметром, що визначає продуктивність, є коефіцієнт витрат μ , який, в свою чергу, залежить від в'язкості рідини та форми зливного тракту. У роботі [4] наведено залежність коефіцієнту витрат від форми

отворів та насадок за даними А.Д. Альтшуля. Для цього повинна виконуватися умова $Re \geq 100000$.

При витіканні з отворів або насадок рідин підвищеної в'язкості приведена умова не виконується і всі коефіцієнти витікання можуть значно змінюватися у залежності від числа Рейнольдса.

Оскільки кожен пристрій для розливу можна уявити як сполучення різних за формою і розмірами насадок, можна припустити, що дійсний час роботи дозатора в циклі залежить від величини коефіцієнта витрат системи зливного тракту, який характеризує пропускну здібність газових каналів та каналів для рідин; від числа Рейнольдса; від коефіцієнта кінематичної в'язкості.

Коефіцієнт витрат зливного тракту залежить від форми каналу і в загальному випадку рівний

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \Sigma \zeta}}, \quad (1)$$

де $\Sigma \zeta$ - сумарний коефіцієнт місцевого опору.

У практиці місцеві опори розміщуються іноді настільки близько одне до одного, що потік між ними не устигає вирівнюватися, оскільки вихроутворення, що виникають при проході через місцеві опори, впливають у подальшому на процес протікання рідини.

Формулювання цілей статті: вивчення впливу коефіцієнтів місцевого опору розливної системи на продуктивність дозуючої системи в межах заданого обсягу, конструктивних особливостей дозувального пристрою і умов його експлуатації.

Основна частина. Дозуючий пристрій [5], який заповнює одиницю тари до встановленого рівня харчовою рідиною (рис. 1) містить встановлену в дно резервуара 8 гільзу 6 з підпружиненим патроном 4 і ущільнюючою манжетою 5, в патрон 4 встановлено повітряну трубку 3, на нижньому кінці якої фіксується направляюча 1. Розливальний патрон працює таким чином:

Горловина банки щільно притискається до ущільнюючої манжети 5, при подальшому натисканні ущільнююча манжета 5 разом з підпружиненим патроном 4 піднімається до утворення між направляючою 1 і ущільнюючою манжетою 5 зазору, через який рідина попадає в банку.

Повітря, що знаходиться в банці, і піна рідини, що утворюється, через повітряну трубку 3 надходять у розливальний резервуар 8. Банка наповняється рідиною до встановленого рівня.

Під час руху наповненої тари в нижнє положення за рахунок опускання стола, який піднімає та опускає тару в процесі наповнення, горловина банки не відривається від ущільнюючої манжети 5.

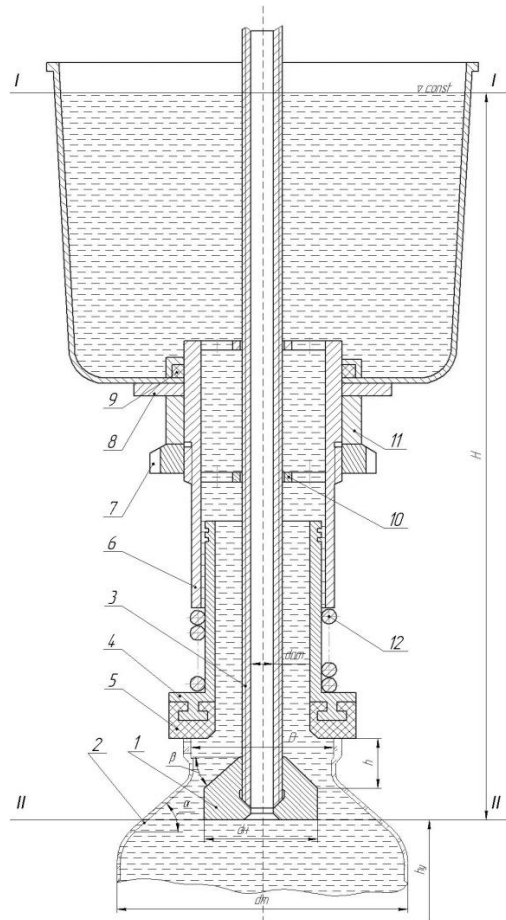


Рис. 1. Загальний вигляд дозуючого пристрою:

1 - направляюча, 2 - банка, 3 – повітряна трубка, 4 - патрон, 5 – ущільнююча манжета, 6 – гільза, 7 - гайка, 8 – дно резервуару, 9 - ущільнення, 10- втулка, 11 - вставка, 12 – пружина.

При розливі в розливальному патроні утворюється плоске кільце між бічною поверхнею ущільнюючої манжети 5 і конічною поверхнею направляючої 1, тим самим створюється плоске шатрове витікання рідини, що входить дотично до поверхні стінки банки, що виключає завихрення струменя, зменшує піноутворення, а, значить, підвищує продуктивність пристрою для розливу рідини.

При проектуванні дозуючого пристрою, який заповнює одиницю тари до вказаного рівня, основне значення має співвідношення каналів у дозуючій голівці.

Продуктивність є важливим параметром, що визначає основні розрахункові характеристики фасувальних машин, яка залежить від кінематики механізмів, гідравлічних параметрів системи, конструктивних елементів.

Визначимо максимальну (теоретичну) продуктивність нев'язкої рідини. Skorистаємося рівнянням Бернуллі:

$$H + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{\lambda \cdot v^2}{2g} = const. \quad (2)$$

Перетворимо для двох перетинів схеми (I – I, II – II рис. 1): дзеркала продукту в розподільчому резервуарі і перетині у відсікаючому клапані:

$$H_p + \frac{P_p}{\rho g} + \frac{\lambda \cdot v_p^2}{2g} = H_k + \frac{P_k}{\rho g} + \frac{\lambda \cdot v_k^2}{2g} + \sum \zeta, \quad (3)$$

де H - висота стовпа рідини, м;

H_p - висота стовпа рідини в розподільчому резервуарі, м, $H_p = H$;

H_k - висота стовпа рідини в клапані, м, $H_k = 0$;

$v_p = 0$ - швидкість витікання у розподільчому резервуарі, м/с;

$P_p = P_{am}$ – атмосферний тиск, кПа.

$P_k = P_{am} + \rho \cdot g \cdot H$;

Тоді:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot (P_p - P_k)}{\rho(1 + \sum \zeta)}}. \quad (4)$$

Після перетворення отримаємо:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \sum \zeta}}, \quad (5)$$

де $\sum \zeta$ – відповідно, сумарний коефіцієнт місцевих опорів для розрахункової схеми дозатора (рис.1).

Коефіцієнти місцевих опорів раптового звуження та розширення, дифузору визначаємо за формулами [6]:

Раптове звуження $\zeta_1 = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_{n2}}{S_{n1}}\right), \quad (6)$

Раптове розширення $\zeta_2 = \left(1 - \frac{S_{n1}}{S_{n2}}\right)^2, \quad (7)$

Дифузор $\zeta_3 = \zeta_{розш} + \zeta_{тр}, \quad (8)$

$$\zeta_{розш} = \varphi_{розш} \left(1 - \frac{S_{n1}}{S_{n2}}\right)^2, \quad \zeta_{тр} = \frac{\varphi_{розш}}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left[1 - \left(\frac{S_{n1}}{S_{n2}}\right)^2\right], \quad \varphi_{розш} = 3,2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}},$$

де $S_{n1}, S_{n2} \dots S_{ni}$ – відповідно площі перерізів зливного тракту, м².

Для більш точного визначення місцевих опорів розливальної системи необхідно врахувати площу повітряної трубки (рис. 1), яка визначається за формулою:

$$S_{n_{mp}} = \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4}, \quad (9)$$

де d_{mp} – діаметр повітряної трубки, м.

З урахуванням місцевих опорів формула (5) матиме вид

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_i}}, \quad (10)$$

З економічних міркувань висота розподільчої ємності не повинна перевищувати 0,5 – 0,6 м, виходячи з цього задаємося, відповідно, висотою стовпа рідини $H = 0,5$ м.

$$\text{Тоді} \quad v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{1 + 0,451 + 0,204 + 0,504 + 0,111}} = 2,08 \text{ м/с.}$$

Використовуючи рівняння Бернуллі – продуктивність після зведень та допущень можна визначити таким чином

$$Q = \mu \cdot S_n \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_i}}, \quad (11)$$

де S_n – площа живого перерізу зливного каналу, м^2 ;

H – висота рівня рідини в дозаторі, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с^2 .

μ – коефіцієнт витрат, що характеризує опір зливного тракту, визначений за формулами А.Д. Альтшуля [4].

При витіканні з отворів або насадок рідин підвищеної в'язкості приведена умова не виконується і всі коефіцієнти витікання можуть значно змінюватися у залежності від числа Рейнольдса [7]:

$$R_e = \frac{v_k \cdot d_e \cdot \rho}{\nu}, \quad (12)$$

де v_k – швидкість витікання, м/с;

d_e – еквівалентний діаметр (внутрішній) насадки, м;

ν – кінематична в'язкість продукту, $\text{м}^2/\text{с}$, для малов'язких продуктів (молоко, соки) в'язкість $\nu \approx (1,2 - 3,1) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$.

$$d_e = D - d, \quad (13)$$

де D – діаметр зливного каналу в даному перерізі, діаметр горла банки, $D = 0,072$ м;

d – діаметр направляючої, $d = 0,06$ м.

$$d_e = 0,072 - 0,06 = 0,012 \text{ м.}$$

$$\text{Для продукту в'язкістю } 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad R_e = \frac{2,08 \cdot 0,012}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 20800.$$

$$\text{Для продукту в'язкістю } 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad R_e = \frac{2,08 \cdot 0,012}{3,1 \cdot 10^{-6}} = 8051.$$

Як видно з розрахунків – при витіканні рідини з дозуючого пристрою при в'язкості $1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ спостерігається турбулентний режим, а при в'язкості $3,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ – ламінарний режим.

Визначимо коефіцієнт витікання μ із залежностей, запропонованих А.Д. Альтшулем з урахуванням числа Рейнольдса.

$$\text{Ламінарний режим } \mu = 0,589 + \frac{0,27}{Re^{\frac{1}{6}}}, \text{ при } 10000 \geq Re \geq 300, \quad (14)$$

$$\text{Коефіцієнт витікання для ламінарного режиму } \mu = 0,589 + \frac{0,27}{8051^{\frac{1}{6}}} = 0,65.$$

$$\text{Турбулентний режим } \mu = 0,592 + \frac{5,5}{\sqrt{Re}}, \text{ при } Re \geq 10000, \quad (15)$$

$$\text{Коефіцієнт витікання для турбулентного режиму } \mu = 0,592 + \frac{5,5}{\sqrt{20800}} = 0,63.$$

Площа живого перерізу зливного каналу (рис. 1) визначається за формулою для визначення площі зрізаного конуса і має вигляд [8].

$$S_n = \pi \cdot h \cdot \sin \alpha \left(d_m - \frac{1}{2} h \sin 2\alpha \right), \quad (16)$$

Продуктивність дозуючого пристрою матиме вигляд

$$Q = \mu \cdot \pi \cdot h \cdot \sin \alpha \left(d_m - \frac{1}{2} h \cdot \sin 2\alpha \right) \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{1 + \zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_i}}, \quad (17)$$

При найменшій випускній щілині $h = 0,004 \text{ м}$ та куті нахилу направляючої $\alpha = 47 \text{ град}$ продуктивність дозуючого пристрою становить:

$$Q_m = 0,65 \cdot \left(3,14 \cdot 0,004 \sin 47 \left(0,05 - \frac{1}{2} \cdot 0,004 \sin 2 \cdot 47 \right) \right) \times \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{1 + 0,45 + 0,204 + 0,504 + 0,111}} = 0,0006 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При найбільшій випускній щілині $h = 0,028 \text{ м}$ та куті нахилу направляючої $\alpha = 47 \text{ град}$, продуктивність дозуючого пристрою становитиме:

$$Q_m = 0,65 \cdot \left(3,14 \cdot 0,028 \sin 47 \left(0,05 - \frac{1}{2} \cdot 0,028 \sin 2 \cdot 47 \right) \right) \times \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{1 + 0,45 + 0,204 + 0,504 + 0,111}} = 0,003 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Висновки. Проведені дослідження дозволяють розрахувати продуктивність дозуючих пристроїв клапанного типу для дозування рідини до зазначеного рівня з урахуванням місцевих опорів розливної системи.

Література:

1. Ярмолинский Д.А. Некоторые гидродинамические показатели новых разливочных автоматов / Д.А. Ярмолинский // «Виноделие и виноградарство СССР», 1976.- №4 с.46-50.
2. Ярмолинский Д.А. Причины нарушения точности дозирования вина при розливе / Д.А. Ярмолинский // «Виноделие и виноградарство СССР», 1973.- №3 с.48-51.
3. Видинеев Ю. Д. Автоматическое дозирование жидкостей / Ю. Д. Видинеев М.: «Энергия», 1967.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, П.Г. Киселёв – М.: Стройиздат, 1965. – 276 с.
5. Ялпачик Ф.Ю. Методика проведення експериментальних досліджень процесу розливу харчових рідин. /Праці/ Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеева Таврійський державний агротехнічний університет – Випуск 11, т.6 - Мелітополь: ТДАТА, 2011. – с. 317 – 321.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. / И.Е. Идельчик – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 464 с.
7. Ялпачик Ф.Ю. Обґрунтування методу визначення коефіцієнту витікання з урахуванням числа Рейнольдса. /Праці/ Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеева // Таврійський державний агротехнічний університет – Випуск 10, т.3 - Мелітополь: ТДАТА, 2010. – с. 209 – 214.
8. Ялпачик Ф.Ю. Вплив гідравлічної системи на продуктивність дозуючого пристрою. /Праці/ Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змеева Таврійська державна агротехнічна академія – Випуск 25, - Мелітополь: ТДАТА, 2005. – с. 119 – 123.

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ РАЗЛИВОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОЗИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

Змеева И. Н., Кюрчев С. В., Ялпачик Ф. Е., Стручаев Н. И.

Аннотация – в работе проанализировано влияние коэффициентов местных сопротивлений разливочной системы на производительность дозирующего устройства.

INFLUENCE COEFFICIENT OF LOCAL RESISTANCE FILLING SYSTEM ON PRODUCTIVITY METERING DEVICES

I. Zmeyeva, S.Kyurchev, F. Yalpachik, N. Struchaev

Summary

This paper analyzes the impact of local resistance coefficients filling system on the performance of the metering device.