

УДК 664.002.5

ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВИТІКАННЯ З УРАХУВАННЯМ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА

Ялпачик Ф.Ю. к.т.н.,

Змеєва І.М., інженер

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-13-06

Анотація – В роботі проаналізовано методи визначення коефіцієнту витрат при розливі харчових рідин, обґрунтовано метод визначення коефіцієнту витікання з урахуванням числа Рейнольдса.

Ключові слова – рідкі харчові продукти, дозувальні машини, продуктивність, коефіцієнт витрат.

Постановка проблеми. Одним з основних вузлів автоматичної лінії з розливу рідких харчових продуктів є розливальний автомат, який включає в себе зливний тракт, тобто розливальний пристрій, завдяки якому відбувається основна технологічна операція – наповнення ємності рідиною. Під терміном зливний тракт ми підрозуміваємо систему, яка складається з: резервуару, дозатора - наповнювача та ємності.

Зливний тракт є одним з відповідальних вузлів розлиального автомату, пропускна здібність якого визначається не тільки продуктивністю автомату, але й продуктивністю всієї лінії розливу в цілому. Окрім того, результатом взаємодії потоку рідини з конструкцією зливного тракту і, головним чином, з конструкцією дозатора – наповнювача ємностей, в значній мірі визначається технологічність розливу.

Аналіз останніх досліджень. В основу сучасних методів розрахунку процесу фасування та фасувальних машин лягли результати досліджень, що проводилися К.П. Гетмановим, І.А. Степановим, Д.А. Ярмолинським, В.Г. Студиліним. Частіше всього досліджувалися процеси фасування вин, як найбільш складні, що пов'язано з фізико-механічними властивостями продукту та вимогами, що висуваються до його фасування. Менше уваги приділялося дослідженням процесу фасування соків.

В роботах К.П. Гетманова та Д.А. Ярмолинського [1, 2, 3]

досліджувалися зливні тракти фасувальних пристроїв з гідравлічної точки зору. В.Г. Студилін вивчив вплив властивостей продукту та форми пляшки на роботу фасувальних пристроїв (зокрема, на піноутворення та точність дозування), обґрунтував методику розрахунку основних параметрів фасувальних машин.

Оскільки нові машини мають перемінний поперечний переріз мірників та каналів для рідини, то для визначення коефіцієнту витрат μ Н.Ф. Харитонов [4] використовував графоаналітичний метод, за допомогою якого досить точно можна вирахувати дійсний коефіцієнт витрат кожного прибору.

Дослідження Н.Ф. Харитонова встановили, що число Рейнольдса виходить меншим в насадках з кільцевим отвором, тобто режим витікання рідини наближується до ламінарного. Насадки складних конструкцій, типу «насадка в насадці» не досліджувалися.

Основна частина. Як ми уже не одноразово відмічали – продуктивність розлиального автомату залежить від конструктивних елементів, кінематики механізмів та гідравлічних параметрів системи [1]. Важливим параметром, що визначає продуктивність - є коефіцієнт витрат μ , який в свою чергу залежить від в'язкості рідини та форми зливного тракту. У роботі [2] наведено залежність коефіцієнту витрат від форми отворів та насадок за даними А.Д. Альтшуля, що є справедливим у тому випадку, коли на витікання у будь-якому помітному ступені не впливає в'язкість. Для цього повинна виконуватися умова $Re \geq 100000$.

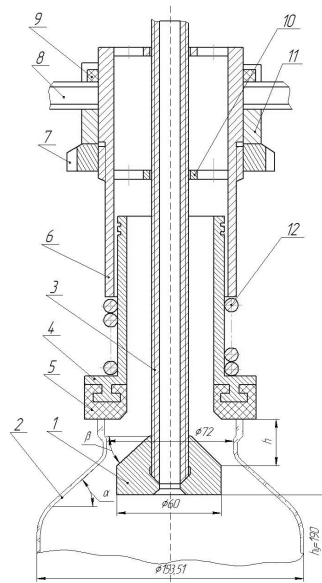


Рис. 1. Дозуючий патрон для дозування харчової рідини до зазначеного рівня:

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

З економічних міркувань, для досягнення найбільшої точності дозування, змінна витрати при пропуску дози не повинна перевищувати 3 - 5%, при висоті розподільчої ємності $H = 0,35$ м, зміна висоти повинна становити $\Delta H = 0,035$ м. Експериментальна установка розрахована на наливання 1 - єї дози, максимальним об'ємом $3,0$ м³. Знаючи вихідні дані, обрахуємо швидкість витікання рідини з дозатора.

Мінімальний об'єм V , м³, розподільчого резервуару (РР) становить [5]

$$V = n \cdot V_g \cdot \frac{H}{\Delta H}, \quad (1)$$

де n – кількість доз, шт.;

V_g – об'єм дози, м³;

H - висота стовпа рідини, м;

ΔH – перепад висоти стовпа рідини, м.

$$V = 1 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{0,35}{0,035} = 0,03 \text{ м}^3,$$

Визначимо максимальну (теоретичний) витрату нев'язкої рідини. Скористаємося рівнянням Бернуллі:

$$H + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}, \quad (2)$$

Перетворимо для двох перетинів схеми: дзеркала продукту в РР і перетині у відсікаючому клапані:

$$H_{pp} + \frac{P_{pp}}{\gamma} + \frac{v_{pp}^2}{2g} = H_{кл} + \frac{P_{кл}}{\gamma} + \frac{v_{кл}^2}{2g}, \quad (3)$$

де H - висота стовпа рідини, м;

H_{pp} - висота стовпа рідини в розподільчому резервуарі, м, $H_{pp} = H$;

$H_{кл}$ - висота стовпа рідини в клапані, м, $H_{кл} = 0$;

$v_{pp} \approx 0$ - швидкість витікання в розподільчому резервуарі, м/с;

$P_{pp} = P_{кл} = P_{ат}$ – атмосферний тиск, кПа.

$$\text{Тоді:} \quad v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (4)$$

де g – швидкість вільного прискорення, м/с²;

H – висота стовпа рідини, м.

$$v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,35} = 2,6 \text{ м/с},$$

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

$$R_e = \frac{v \cdot d_e \cdot \rho}{\mu}, \quad (5)$$

де v – швидкість витікання, м/с;

d_e – еквівалентний діаметр (внутрішній) насадка, м;

ν – кінематична в'язкість продукту, м²/с, для малов'язких продуктів (молоко, соки) в'язкість $\nu \approx (1,2 - 3,1) \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$d_e = D - d, \quad (6)$$

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

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

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

$$\text{Для продукту в'язкістю } 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad Re = \frac{2,6 \cdot 0,012}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 26000.$$

$$\text{Для продукту в'язкістю } 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad Re = \frac{2,6 \cdot 0,012}{3,1 \cdot 10^{-6}} = 10065.$$

Як видно з розрахунків – при витікання рідини з дозуючого пристрою – спостерігається турбулентний режим.

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

$$\text{Ламінарний режим } \mu = 0,589 + \frac{0,27}{Re^{\frac{1}{6}}}, \text{ при } 10000 \geq Re \geq 300, \quad (7)$$

$$\text{Турбулентний режим } \mu = 0,592 + \frac{5,5}{\sqrt{Re}}, \text{ при } Re \geq 10000, \quad (8)$$

$$\text{Для продукту в'язкістю } 1,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad \mu = 0,592 + \frac{5,5}{\sqrt{26000}} = 0,63.$$

$$\text{Для продукту в'язкістю } 3,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с} \quad \mu = 0,592 + \frac{5,5}{\sqrt{10065}} = 0,65.$$

Визначимо пропускну здатність дозуючого пристрою

$$Q = \mu \cdot \tau \cdot S_n \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (9)$$

де S_n – площа живого перерізу зливного каналу, м²;

τ – час наповнення тари до зазначеного рівня, с, $\tau = 7$ с;

H – висота рівня рідини в дозаторі, м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

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

$$S_n = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2), \quad (10)$$

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

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

$$S_n = \frac{3,14}{4} (0,072^2 - 0,06^2) = 0,001 \text{ м}^2,$$

$$Q = 0,65 \cdot 7 \cdot 0,001 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,35} = 0,014 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

При визначенні продуктивності не було враховано висоту підняття ущільнюючої манжети.

Тому, цю продуктивність слід вважати суто теоретичною.

На практиці на продуктивність дозуючого пристрою впливає налаштування дозуючого обладнання, згідно з допустимими значеннями для кожного виду тари.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку площі живого перерізу

| Об'єм ємності, см ³ | Висота підняття дозуючого пристрою*, <i>h</i> , мм | | | | Кут нахилу направляючої, <i>α</i> , град. |
|--------------------------------|--|----------------|----------------|----------------|---|
| | H ₁ | H ₂ | H ₃ | H ₄ | |
| 3000 | 28 | 18 | 11 | 4 | 47 |

* Згідно з ГОСТ 5717.2-2003 “Банки стеклянные для консервов. Основные параметры и размеры”

Визначення площі живого перерізу, з врахуванням висоти підняття дозуючого пристрою і кута нахилу направляючої. [6]

$$S_n = \pi \cdot h \cdot \sin(90 - \alpha) (d - 2 \cdot h \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \sin(90 - \alpha)), \quad (11)$$

Тоді:

$$Q_m = \mu \cdot \tau \cdot (\pi \cdot h \cdot \sin(90 - \alpha) (d - 2 \cdot h \cdot \cos(90 - \alpha) \cdot \sin(90 - \alpha))) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}, \quad (12)$$

При найменшій випускній щілині, продуктивність дозуючого пристрою становить:

$$Q_m = 0,65 \cdot 7 \cdot (3,14 \cdot 0,004 \cdot \sin(90 - 47) (0,05 - 2 \cdot 0,004 \cdot \cos(90 - 47) \cdot \sin(90 - 47))) \times \\ \times \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,35} = 0,005 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

При найбільшій випускній щілині, продуктивність дозуючого пристрою становитиме:

$$Q_m = 0,65 \cdot 7 \cdot (3,14 \cdot 0,028 \cdot \sin(90 - 47) (0,05 - 2 \cdot 0,004 \cdot \cos(90 - 47) \cdot \sin(90 - 47))) \times \\ \times \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,35} = 0,033 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Висновки. Проведені дослідження дозволяють розрахувати продуктивність дозуючих пристроїв клапанного типу, для дозування рідини до зазначеного рівня.

Література

1. Ярмолинский Д.А. Некоторые гидродинамические показатели новых разливающих 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. Степанов И.А. Автоматические линии розлива пищевых гидкостей / И.А. Степанов, П.Н. Галасов. М.: «Пищевая промышленность», 1971.
4. Харитонов Н.Ф. Автоматы и поточные линии розлива вин / Н.Ф. Харитонов, Д.А. Ярмолинский . М.: «Машиностроение»,1967.
5. Видинеев Ю.Д. Автоматическое дозирование жидкостей / Ю.Д. Видинеев М.: «Энергия», 1967.
6. Ялпачик Ф.Ю. Вплив гідравлічної системи на продуктивність дозуючого пристрою. /Праці/ Ф.Ю. Ялпачик, І.М. Змєєва Таврійська державна агротехнічна академія – Випуск 25, - Мелітополь: ТДАТА, 2005. – с. 119 – 123.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ИСТЕЧЕНИЯ С УЧЕТОМ ЧИСЛА РЕЙНОЛЬДСА

Ялпачик Ф.Ю. Змєєва И.Н.

Аннотация - В работе проанализированы методы определения коэффициента расходов при разливе пищевых жидкостей, обоснованно метод определения коэффициента истечения с учетом числа Рейнольдса.

GROUND OF METHOD OF DETERMINATION OF COEFFICIENT EXPIRATION TAKING INTO ACCOUNT NUMBER OF REYNOLDS

F.Yalpachik, I. Zmeyeva

Summary

The methods of determination of coefficient of charges are in-process analysed at the overflow of food liquids, grounded method of determination of coefficient of expiration taking into account the number of Reynolds.