

**УДК 664.002.5**

**Кюрчев С. В., Змеєва І. М.**

**МАТЕМАТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ  
НА ПРОЦЕС РОЗЛИВУ ХАРЧОВИХ РІДИН**

*Таврійський державний агротехнологічний університет,*

*м. Мелітополь, пр. Б.Хмельницького, 18, 72310*

**Kyurchev S.V., Zmeyeva I.N.**

**MATHEMATICAL JUSTIFICATION OF FACTORS THAT AFFECT  
THE PROCESS OF FOOD LIQUIDS BOTTLING**

*Taurian State Agrotechnological University,*

*Melitopol, ave. B. Khmelnytsky, 18, 72310*

*Анотація. Робота присвячена дослідженню факторів, які найбільше впливають на процес розливу харчових рідин, розроблена математична модель та обґрунтовані оптимальні параметри.*

*Ключові слова: математична модель, фактори, розлив, харчова рідина.*

*Abstract. In this paper studies the factors that most influence the process of food liquids bottling, developed a mathematical model and grounded the optimal parameters.*

*Key words: mathematical model, factors, spill, fluid food.*

Динамічний розвиток харчових і консервних переробних підприємств, застосування у виробництві нових високошвидкісних ліній, розширення асортименту продукції, збільшення випуску скляної та пластмасової тари потребує застосування таких дозувальних машин, які спроможні були б задовольняти всі вимоги виробників. А також, щоб відповідали вимогам, які відповідають за якість харчових рідин, що визначають не тільки тип тари, в яку фасують ці рідини, але й умови, принципи та методи фасування.

Технологічну ефективність процесу розливу, у значній мірі, визначають показники роботи всієї лінії розливу. Вона залежить від багатьох факторів, які можуть бути розбиті на дві групи: фактори, що обумовлені технологічними властивостями харчової рідини, а також фактори, що залежать від режиму роботи та параметрів розливального пристрою та умов його експлуатації [1].

Для досягнення високої технологічної ефективності процесу розливу, необхідно встановити режим процесу розливу з урахуванням властивостей харчової рідини. Основними кінематичними показниками процесу розливу, що впливають на продуктивність та точність дозування є час наповнення одиниці тари, швидкість витікання харчової рідини з дозуючого пристрою. Суттєвий вплив на вихідний продукт мають й конструктивні параметри технологічного процесу, а саме висота стовпа рідини в розливному пристрої, геометрія направляючої (кут нахилу), висота підйому манжети відносно направляючої.

На основі проведеної параметризації, апріорного вивчення та теоретичних досліджень процесу розливу харчових рідин, були визначені фактори, що найбільше впливають на продуктивність процесу розливу та точність дозування. До них відносяться висота стовпа рідини в розливному пристрої, кут нахилу направляючої, висота підйому манжети відносно направляючої. Варіювання відібраних факторів здійснювалося у межах зумовлених можливими технологічними показниками процесу розливу харчових рідин.

Для отримання моделі квадратичного виду використовували ротатабельне центральне композиційне планування (РЦКП) [2]. Технологія проведення РЦКП дозволяє отримати підвищену точність прогнозування функції відгуку, при цьому значно знижується загальна кількість дослідів, що необхідно провести.

Дослідженню піддавався вплив конструктивних параметрів та кінематичних режимів на продуктивність процесу розливу харчових рідин та точність дозування. Як випливає з теоретичного аналізу основними факторами, що впливають на зазначені показники, є: кут нахилу направляючої  $\alpha - X_1$ ; висота підйому манжети відносно направляючої  $h - X_2$  та висота стовпа рідини

в розливному приборі  $H - X_3$ . Зважаючи на вище зазначене, кількість факторів  $n_f$  дорівнюватиме 3, у відповідності до цього згідно до [2] було визначена сумарне число дослідних точок у експерименті – 20. В ході експерименту фактори варіювались на п'яти рівнях: базовому (0), верхньому (+1) та нижньому (-1) рівнях повнофакторного експерименту, а також верхній (+ $\alpha$ ) та нижній (- $\alpha$ ) зоряних точках. Величина зоряного плеча виходячи з кількості факторів, була прийнята рівною 1,682 [2]. Порядок проведення експериментів матриці РЦКП носив випадковий характер та визначався за допомогою генератору випадкових чисел. Межі варіювання факторів матриці вказані в (табл. 1).

**Таблиця 1**

**Межі варіювання факторів при експериментальному визначенні впливу кута нахилу направляючої, висоти підйому манжети відносно направляючої та висота стовпа рідини в розливному пристрої на ефективність процесу розливу харчових рідин**

Фактори		-1	0	+1	ІВР	+ $\alpha$	- $\alpha$
$X_1$	$\alpha$ , град	30	40	50	10	56,820	23,180
$X_2$	$h$ , м	0,008	0,013	0,018	0,005	0,0214	0,0046
$X_3$	$H$ , м	0,3	0,4	0,5	0,1	0,568	0,232

В результаті проведення досліджень за розробленою методикою для визначення оптимальних параметрів процесу розливу харчових рідин до зазначеного рівня через визначення продуктивності розливального прибору та точності дозування отримано масив даних, які оброблювались з використанням прикладних програм Microsoft Office Excel 2003, Matchcad. Розраховувались дисперсії відтворюваності дослідів, однорідність дисперсії (критерій Кохрена). Перевірку значущості коефіцієнтів отриманих рівнянь регресії проводили за критерієм Стюдента, а адекватність рівняння – за критерієм Фішера. Критичний рівень значущості приймали рівним 0,05.

Матриця ротатбельного центрального композиційного планування та значення функції відгуку, що було отримано в результаті експериментальних досліджень по розливу харчової рідини, наведено в (табл. 2).

**Таблиця 2**

**Матриця ротатбельного центрального композиційного планування.**

		$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$	$X_1 X_2 X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	Q, бан/хв.	$\Delta$ , %
Nф	1	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	8,320	-1,350
	2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	9,760	-2,370
	3	1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	10,680	-2,293
	4	1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	12,140	-3,313
	5	1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	9,240	0,650
	6	1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	10,680	-0,190
	7	1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	11,600	-0,293
	8	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	13,040	-1,100
Nа	9	1	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0	9,500	-2,030
	10	1	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	0	11,960	-2,450
	11	1	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	8,620	0,030
	12	1	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	0	12,580	-1,870
	13	1	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	10,340	-2,070
	14	1	0	0	1,682	0	0	0	0	0	0	2,828	11,520	2,420
Nо	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,860	-0,170
	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,800	-0,480
	17	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,760	-0,150
	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,820	-0,420
	19	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,720	-0,500
	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,820	-0,16

При обробці експериментальних даних було визначено дисперсію помилок спостереження  $D_n$ , критичні значення коефіцієнтів рівняння регресії (для груп коефіцієнтів по їх взаємодії: вільний коефіцієнт, одинарна взаємодія,

міжфакторна взаємодія та квадратична взаємодія  $B_0, B_i, B_{ij}, B_i^2$  відповідно), дисперсія помилок (групується аналогічно коефіцієнтам)  $S_0, S_i, S_{ij}, S_i^2$ , помилка неадекватності та розрахунковий критерій Фішера  $F_p$ , які розраховуються відповідно до методики (табл. 3).

Таблиця 3

**Результати розрахунків та аналіз рівнянь регресії при розливі харчової рідини до зазначеного рівня**

Показник	$D_n$	Критичні значення				Дисперсії помилок				$S_n$	$F_p$
		$B_0$	$B_i$	$B_{ij}$	$B_{ii}$	$S_0$	$S_i$	$S_{ij}$	$S_i^2$		
Продуктивність, Q	0,0025	0,052	0,035	0,045	0,034	0,020	0,013	0,018	0,013	0,173	2,453
Точність дозування, Δ	0,029	0,178	0,118	0,155	0,115	0,069	0,046	0,060	0,045	1,084	4,636

Для перевірки моделі на адекватність використовували критерій Фішера, табличне значення якого було визначено виходячи з загальної кількості досліджень, кількості досліджень на нульовому рівні та числа значущих коефіцієнтів. Для даного етапу експериментальних досліджень табличне значення критерію Фішера складає  $F_T = 4,7$  для рівня значущості 0,95.

$$F_p < F_m \quad (1)$$

де  $F_p$  – розрахункове значення критерію Фішера;

$F_m$  – табличне значення критерію Фішера.

$$F_p = \frac{S_{ad}^2}{D_n}, \quad (2)$$

де  $S_{ad}^2$  – дисперсія адекватності;

$D_n$  – помилка спостереження.

Умова значущості коефіцієнтів рівняння регресії

$$B_{0_p}, B_{i_p}, B_{ij_p}, B_{ii_p} > t_T(q, f) \quad (3)$$

де  $B_{0_p}, B_{i_p}, B_{ij_p}, B_{ii_p}$  – розрахункові значення критерію Стьюдента

$t_T(q, f)$  – табличне значення критерію Стьюдента для рівня значущості  $q$  і ступеню свободи  $f$ .

$$B_{0_p} = \frac{|b_0|}{s_{b_0}}, B_{i_p} = \frac{|b_i|}{s_{b_i}}, B_{ij_p} = \frac{|b_{ij}|}{s_{b_{ij}}}, B_{ii_p} = \frac{|b_{ii}|}{s_{b_{ii}}} \quad (4)$$

де  $s_{b_0}^2, s_{b_i}^2, s_{b_{ij}}^2, s_{b_{ii}}^2$  – дисперсія коефіцієнтів регресії

$$s_{b_0}^2 = \frac{s_0^2}{N}, s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}, s_{b_{ij}}^2 = \frac{s_0^2}{\sum_{u=1}^N (x_{iu} x_{ju})^2}, s_{b_{ii}}^2 = \frac{s_0^2}{\sum_{u=1}^N (x'_{i_i})^2} \quad (5)$$

де  $N$  – кількість дослідів.

З метою перевірки значущості коефіцієнтів рівняння регресії було використано методику, відповідно до якої відбувалось порівняння розрахункового значення коефіцієнту та критичного його значення [3, 4].

В результаті розрахунків було отримано ряд поліноміальних математичних моделей, що описують залежність функцій відгуку від вхідних параметрів.

Продуктивність розливального пристрою

$$Y = 10,788 + 0,726X_1 + 1,180X_2 + 0,392X_3 - 0,036X_1^2 - 0,082X_2^2 + 0,035X_3^2 \quad (6)$$

Точність дозування

$$Y = -0,304 - 0,322X_1 - 0,508X_2 + 1,107X_3 + 0,004X_1X_2 + 0,004X_2X_3 - 0,733X_1^2 - 0,2667X_2^2 + 0,12X_3^2 \quad (7)$$

В результаті обробки експериментальних даних отримані математичні моделі процесу розливу харчових рідин адекватність яких достатня для використання їх, як базових при моделюванні.

Література:

1. Зайчик Ц.Р. Упаковывание тихих напитков в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов – М.: ДеЛи, 2000. – 206 с.
2. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. / В.В. Налимов, Н.А. Чернова – М.: Наука, 1965. – 338 с.
3. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента / Ю.П. Грачев – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 220 с.

4. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов экспериментов / Л.З. Румшинский – М.: Наука, 1971. – 192 с.

Стаття відправлена: 11.03.2014г.

© Кюрчев С. В., Змеєва І. М.