

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ БАГАТОФАКТОРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ НА ЗАМІШУВАННЯ ХЛІБНОГО ТІСТА

**Вступ.** Хлібопекарська галузь України останніми роками стикається з досить серйозними економічними проблемами. Їх виникнення пов'язано як зі зниженням якості сировини, що використовується для виготовлення хліба, так і з великою енергоємністю цієї промисловості, нераціональною організацією процесу виробництва.

**Актуальність.** Процес замішування є стохастичним, на який впливають багато випадкових факторів. Тому відомі залежності, що використовуються для розрахунку витрат енергії, є емпіричними, узагальненими і, як правило, дають завищені значення.

Завданнями досліджень є створення адекватної математичної моделі, в якій пов'язані витрати енергії з факторами, що на них впливають (консистенція матеріалів і режими замішування).

**Матеріали та методи.** Здійснено фізичні експерименти на експериментальній установці [1], для планування яких використано метод Зейделя–Гаусса. В підсумку отримана багатофакторна кореляційна залежність на основі отриманої функції Протодіяконова. Для визначення потужності електродвигуна в процесі замішування тіста використовувався самописний ватметр типу Н 379 з діапазоном вимірів до 0,1 кВт. Вологість тіста визначалася за стандартною методикою за допомогою приладу ВЧМ згідно ГОСТ 21094-75.

Експеримент по Зейделю–Гауссу базується на дослідженні впливу одного фактора за умови, що інші задаються на деякому рівні, який необхідно дослідити. Визначені в результаті експерименту залежності описуються частковими алгебраїчними функціями.

Для узагальнення часткових залежностей використовується багатофакторна функція Протодіяконова, застосування якої для обробки результатів експериментальних досліджень дозволяє отримати адекватні результати:

$$Y_{II} = \frac{\prod_{i=1}^k y_i}{y_{cp}^{k-1}},$$

де  $y_i$  – часткові функції, визначені за допомогою методу найменших квадратів;

$k$  – кількість факторів;

$y_{cp}$  – середнє значення всіх врахованих результатів експерименту.

Слід зазначити, що перевагою функції Протодіяконова порівняно з рівняннями регресії, які отримують методом багатофакторного планування для опису процесів перероблення харчової сировини, є отримання більш коректних залежностей, які відповідають умовам реального експерименту.

Адекватність математичної моделі визначена за критерієм Фішера, розраховано середньоквадратичне відхилення та коефіцієнт детермінації.

**Результати та обговорення.** Статистичну багатофакторну залежність визначали в такій послідовності: визначення керованих факторів та меж їх зміни; розрахунок значень рівнів факторів (табл.1); заповнення матриці планування експерименту; визначення апроксимуючих функцій та значимості їх часткових залежностей; розрахунок статистичної багатофакторної залежності за формулою Протодіяконова.

Попередньо встановлено, що на процес замішування суттєво впливають такі фактори: кількість обертів місильного органа  $n$ ; вологість тіста  $w$ ; тривалість замішування  $t$ .

Кількість експериментів  $m$  визначалася кількістю рівнів  $p$ , які задані для кожного фактору, за формулою  $m = p^2$ . При кількості рівнів 5, кількість експериментів становить 25.

Таблиця 1 – Рівні факторів дослідження

№ п/п	Фактор	Рівень				
		1	2	3	4	5
1	$X_1$ , кількість обертів, об/хв	200	250	300	350	400
2	$X_2$ , вологість тіста, %	40	41	42	43	44
3	$X_3$ , тривалість замісу, с	180	210	240	270	300

За отриманими експериментальними значеннями часткових функцій визначені апроксимуючі функції методом найменших квадратів. Вид отриманих залежностей та розрахункові значення ( $Y_i \cdot 10^3$ ) наведено в табл.2.

Таблиця 2- Розрахункові значення часткових функцій

№ п/п	Функція	Рівень					Середнє значення
		1	2	3	4	5	
1	$Y_1 = 97,3 + 0,244X_1$	146,1	158,3	170,5	182,7	194,9	170,5
2	$Y_2 = 137,4X_2 - 1,67X_2^2 - 2638,9$	175,6	177,2	175,5	170,4	161,9	172,1
3	$Y_3 = 1,1X_3 - 0,0013X_3^2 - 15,9$	139,5	157,3	172,6	185,7	196,4	170,3

В результаті обробки експериментальних даних та після математичних перетворень, емпіричне рівняння залежності витрати енергії від параметрів процесу має вигляд:

$$E = \frac{(97,3 + 0,244n) \cdot (137,4w - 1,67w^2 - 2638,9) \cdot (1,1t - 0,0013t^2 - 15,9)}{172,7^2}$$

За результатами експериментальних і розрахункових даних розраховано коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,96$  та середньоквадратичне відхилення, яке становить 8.9 %. Критерій Фішера  $F = 168$  при  $F_{кр} = 2.94$ , отже  $F > F_{кр}$  і модель є адекватною.

Після аналізу статистичної значущості коефіцієнтів рівняння регресії запропонована спрощена формула для інженерних розрахунків:

$$E = 137,8 + 3,5n - 7,2w + 9,5t$$

при таких параметрах процесу:  $200 \leq n \leq 400$  об/хв.;  $40 \leq w \leq 44\%$ ;  $180 \leq t \leq 300$  с.

Аналіз обчислених значень функції  $E$  свідчить, що при збільшенні тривалості замішування  $t$  функція  $E$  зростає більш суттєво, при збільшенні  $n$  спостерігається повільніше її зростання, а при збільшенні вологості тіста  $w$  витрати енергії на замішування зменшуються.

**Висновки.** Дослідивши вплив кожного з факторів на витрати енергії в процесі замішування, встановлено, що для забезпечення якісного замісу борошняного тіста при незначних витратах питомої енергії необхідно максимально можливо збільшувати вологість тіста при зменшенні тривалості процесу з урахуванням якісних показників продукції.

#### Література

1. Шпак, М. С. Визначення енергетичних показників у процесі замішування хлібного тіста методом пікових точок / М. С. Шпак, О. О. Чепелюк // Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції – основні засади її конкурентоздатності: матеріали IV Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції, 8 вересня 2015 р., м. Київ. – К. : НУХТ, 2015. – С. 72-74. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/22665>