

## **МАТЕМАТИЧНА ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИГОТОВЛЕННЯ КРУПИ ТРИТИКАЛЕВОЇ ПЛЮЩЕНОЇ МЕТОДОМ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ**

*Зерно тритикале має високі круп'яні властивості, тому оптимізація технології його переробки на крупу – актуальне питання сьогодення. Найвищий попит з круп'яних продуктів має крупа плющена, а тому дослідження, що наведені у статті, спрямовані на вивчення технології переробки тритикале озимого на крупу плющениу.*

*У статті наведено математичну обробку результатів дослідження впливу тривалості луцення та режимів водно-теплової обробки на індекс луцення, вихід, вологість та органолептичні показники готового продукту. На основі аналізу наукових джерел літератури встановлено, що крупа з вмістом периферійних частин зернівки має вищі якісні показники порівняно із шліфованими крупами, проте підвищення їх відсоткового вмісту погіршує органолептичні показники крупи.*

*У статті використано розширену матрицю експериментів у розкдованому вигляді з середніми даними, розрахованими з урахуванням критеріїв Кохрена, Фішера, Стьюдента, та Дарбіна–Уотсона.*

*Відповідно до математичного аналізу багатофакторного дослідю, встановлені оптимальні режими виробництва крупи тритикалевої плющеної. Вони полягають у тому, що зерно за індексу луцення 9 % пропарюють та темперують впродовж 5 хв. з подальшим плющенням і охолодженням.*

*Ключові слова: зерно тритикале, крупа плющена, пропарювання, темперування*

*Зерно тритикале имеет высокие крупяные свойства, поэтому оптимизация технологии его переработки – актуальный вопрос современности. Самый высокий спрос среди крупяных продуктов имеет крупа плющенная, а потому исследования, приведенные в статье, направлены на изучение технологии переработки тритикале озимого на плющеную крупу.*

*В статье приведены результаты исследования влияния степени шелушения и режимов водно-тепловой обработки на выход, влажность и органолептические показатели качества готового продукта. На основе анализа научных источников литературы установлено, что крупа с содержанием периферийных частей зерновки имеет высокие качественные показатели по сравнению с шлифованными крупами, однако повышение их процентного содержания ухудшает органолептические показатели крупы.*

*В статье использована расширенная матрица экспериментов в расшифрованном виде со средними данными, рассчитанными с учетом критериев Кохрена Фишера Стьюдента и Дарбина-Уотсона.*

*Согласно математическому анализу многофакторного опыта установлены оптимальные режимы производства крупы тритикалевой плющеной. Они заключаются в том, что зерно с индексом шелушения 9 % пропаривают и темперуют течение 5 мин. с последующим плющением и охлаждением.*

*Ключевые слова: крупа плющенная, пропаривание, темперирование.*

*The grain of triticale has high cereal properties. The flakes are of the highest demand among cereal products. The studies described in the article are devoted processing*

*technologies of winter triticale to flakes.*

*The results of the impact studies of degree of peeling and the regimes of water-heat treatment on the yield, moisture and sensoric quality of the finished product are adduced. Basing on the analysis of scientific literature sources it is revealed that the cereals containing peripheral parts weevil has a higher quality performance compared to the ground cereals, but the increase their percentage worsens sensoric properties of the grains.*

*The article contains an expanded array of experiments in the form of decryption with the average data calculated with Cochran's Q test, the test of Fisher, the test of Student, and the Durbin-Watson's statistic.*

*According to the mathematical analysis of multivariate experiment, the optimal modes of production of the triticale cereals was found. We concluded that the most optimal is the grain index of peeling 9 %, the time of steamed and tempered for 5 min. followed by flaking and cooling.*

*Keywords: flakes, grain of triticale, steaming,*

**Вступ.** Низький рівень вивчення технології переробки тритикале на плющену крупу зумовлює необхідність удосконалення технології на основі комплексного дослідження факторів, що впливають на якість та вихід готового продукту, враховуючи сучасні тенденції в умовах ринкового середовища. На відміну від стандартних круп'яних продуктів, встановлено ріст попиту на крупи, одержані з цілого зерна, які мають меншу калорійність, більший вміст вітамінів і мінеральних речовин [1, 6].

Процес переробки лущеного зерна злакових культур на крупу плющену включає пропарювання, темперування, плюшіння, контроль готового продукту та сушіння. [2, 3].

Відомі технології виготовлення пшеничних і тритикалевих плющених круп, проте вони характеризуються високими енергосиловими витратами, що не нівелюються низькою тривалістю варіння та підвищенням виходу готового продукту [4, 5].

**Метою роботи є** удосконалення технології виготовлення крупи тритикалевої плющеної.

**Об'єкт, предмет і аспект дослідження.** Об'єкт дослідження – технологія виготовлення крупи тритикалевої плющеної. Предмет – технологічні режими процесу виготовлення крупи тритикалевої плющеної. Дослідження проводились в умовах лабораторії кафедри технології зберігання і переробки зерна Уманського НУС. Лущення зерна здійснювали на лабораторному лущильнику УШЗ-1 з швидкістю обертання робочого органу 3000 об/хв. Маса зразка для лущення становила 100 г. Просіювання та контроль проміжних продуктів – на лабораторному розсіві марки РЛУ 1. На пропарювання відбирали лущене зерно отримане проходом сита  $\varnothing$  4,5 мм і сходом сита  $\varnothing$  3,5 мм, крупу тритикалеву плющену отримували проходом сита  $\varnothing$  6,5 мм і сходом сита 4,0 мм. Пропарювання – в лабораторному пропарювачі періодичної дії за тиску насиченої пари 0,015 МПа, темперування – в термоізолюваному бункері, сушіння – в лабораторній сушарці марки Садочок, продукти зважували на вагах з точністю до десятих. Визначення вологості проводили термогравіметричним методом за ДСТУ 29144:2009.

Кулінарну оцінку каші з крупи тритикалевої плющеної проводили за 9-бальною шкалою відповідно до методики державного сорто випробування в модифікації кафедри технології зберігання і переробки зерна. Математичну обробку експериментальних матеріалів здійснювали, використовуючи пакет стандартних програм Microsoft Excel 2007 і Statistica 10.

**Обговорення результатів.** Удосконалення виготовлення крупи тритикалевої плющеної здійснювали на основі комплексного аналізу впливу індексу лушніння та режимів водно-теплової обробки методом повно факторного експерименту.

Метод повного факторного експерименту базується на тому положенні, що будь-яку неперервну досліджувану функцію  $f(x)=x_1+x_2+\dots+x_n$ , яка має всі похідні в заданій точці з координатами  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ , можна розкласти в ряд Тейлора:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_H x_H + \beta_{21} x_1 x_2 + \beta_{(n-1)} x_{(n-1)} x_n + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \dots + \beta_{nn} x_n^2, \quad (1)$$

де  $\beta_0$  – значення функції відгуку на початку координат  $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ .

$$\beta_i = \frac{dy}{dx_1}; \quad \beta_{ij} = \frac{d^2 y}{dx_1 x}; \quad \beta_{ii} = \frac{1}{2} \frac{d^2 y}{dx_1^2}. \quad (2)$$

На практиці за результатами експерименту цей поліном замінюється так званим рівнянням регресії:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i z_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} z_i z_j + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} z_i^2, \quad (3)$$

де  $b_0, b_i, b_{ij}$  – коефіцієнти регресії;  $z_i$  – закодована змінна, яка введена для спрощення обчислень і є відповідною величиною, а саме:

$$z_i = \frac{x_i - x_{0i}}{0,5\Delta x_i}; \quad \Delta x_i = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}}; \quad x_{0i} = \frac{x_{i_{\max}} + x_{i_{\min}}}{2} \quad (4)$$

Максимальному значенню  $x_{i_{\max}}$  відповідає  $z_i = +1$ , а мініимальному  $x_{i_{\min}}$  відповідає  $z_i = -1$ .

Матриця планування повного факторного експерименту є ортогональною, оскільки:

$$\sum_{j=1}^m z_{ij} = 0; \quad \sum_{j=1}^m z_{ij}^2 = m; \quad \sum_{j=1}^m z_{ir} z_{js} = 0, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість дослідів повного факторного експерименту;

$j$  – номер дослідів;

$i, r, s$  – номери факторів.

Для такої ортогональної матриці коефіцієнти регресії лінійного полінома зумовлюються такими виразами:

$$b_0 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_j; \quad b_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{ji} y_j; \quad b_{is} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m z_{jr} z_{js} y_j. \quad (6)$$

Експерименти були рандомізованими так як виконувались з послідовною зміною факторів у межах однієї серії дослідів.

Для спрощення розрахунків відповідно до формул 1 – 7, було використано програму Statistica 10 в якій було використано розширену матрицю експериментів у розкодованому вигляді з середніми даними, розрахованими з урахуванням критерію Кохрена.

Адекватність отриманих моделей визначали на основі комплексного аналізу коефіцієнтів детермінації та критерію Фішера. Значущість та статистичну надійність коефіцієнтів встановлювали відповідно до критерію Стьюдента. Наявність автокореляції визначали відповідно до критерію Дарбіна–Уотсона.

У результаті розрахунку математичної моделі отримано сумарну характеристику змінних за результатами експериментальних досліджень залежності виходу крупи плющеної  $X$ , відсоткового вмісту мучки  $M$ , відходів I і II кат.  $E$ , кулінарної оцінки  $O$  і вологості перед лушнінням  $W$ , залежно від тривалості лушніння  $T_L$ , тривалості пропарювання  $T_{II}$  і темперування  $T_T$ .

У результаті перевірки математичних моделей встановлено, що отримані моделі є адекватними, відтворюваними та статистично надійними, а рівняння регресії можуть використовуватись для визначення проміжних значень. Так, розрахункове значення критерію Фішера для всіх отриманих моделей становило  $p < 0,000$ , тобто було менше за 0,05, а коефіцієнт детермінації був вищий за 0,75, що свідчить про адекватність моделі на рівні 5% (табл. 1). На основі аналізу критерію Дарбіна–Уотсона встановлено, що гіпотеза про незалежність випадкових відхилень не відкидається тобто автокореляція відсутня.

Таблиця 1

**Показники перевірки моделей на адекватність, статистичну надійність та автокореляцію**

Функція	Показник					
	R	R <sup>2</sup>	Розрах. R	F	p	DW
X	0,94	0,88	0,87	61,8	$p < 0,000$	3,07
M	0,97	0,95	0,94	152,58	$p < 0,000$	2,92
E	0,98	0,80	0,78	32,93	$p < 0,000$	3,19
O	0,95	0,90	0,89	73,23	$p < 0,000$	3,76
W	0,98	0,96	0,96	242,91	$p < 0,000$	2,54

Відповідно до статистичного аналізу були побудовані математичні моделі, що описується наступними рівняннями регресії другого порядку:

$$X = 93,27 + 0,708 T_{II} - 0,05 T_L - 0,028 T_{II}^2 + 0,002 T_{II} T_L \quad (7)$$

$$M = 1,489 - 0,233 T_{II} + 0,019 T_L + 0,01 T_{II}^2 + 0,001 T_L^2 - 0,001 T_{II} T_L - 0,002 T_T T_L \quad (8)$$

$$E = 475 - 0,475 T_{II} + 0,029 T_L + 0,018 T_{II}^2 - 0,001 T_{II} \times T_L \quad (9)$$

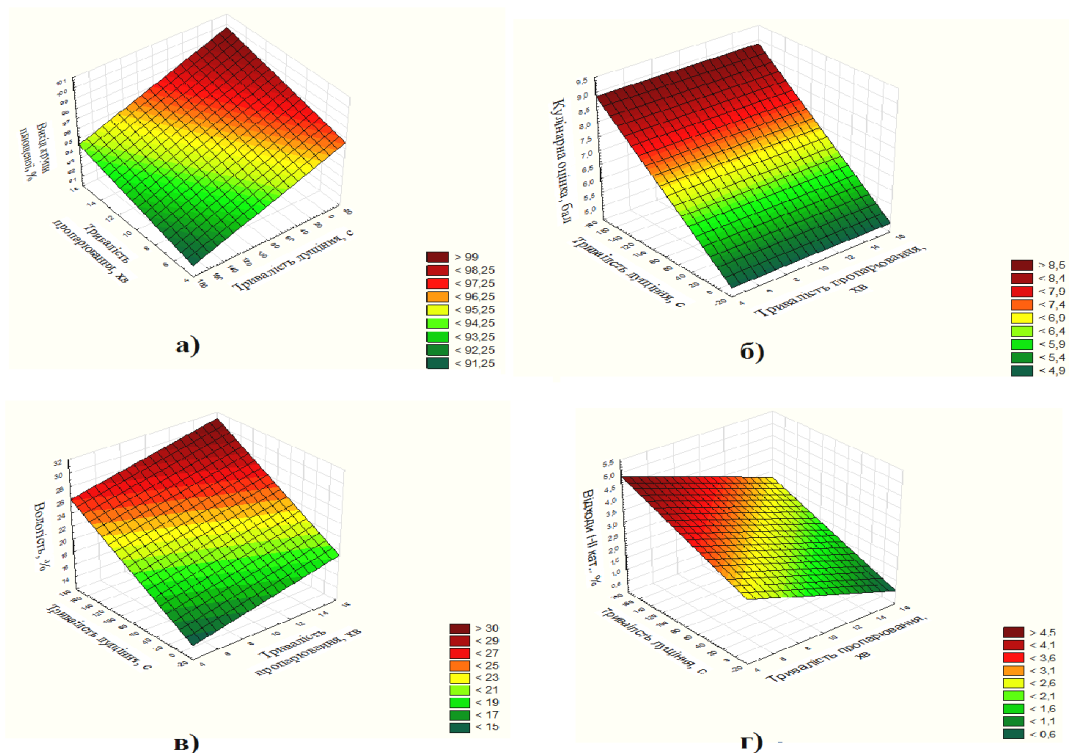
$$O = 5,39 + 0,013 T_L + 0,001 T_L^2 \quad (10)$$

$$W = 13,253 + 0,059 T_L + 0,02 T_{II}^2 + 0,002 T_L^2 - 0,002 T_{II} T_L \quad (11)$$

Отже комплексною оцінкою впливу режимів водно-теплової обробки і параметрів луцильника на основні кількісно-якісні показники встановлено, що тривалість темперування неістотно впливає на них. Тому площину відгуку досліджуваних функцій було побудовано з фіксацією фактора тривалості темперування впродовж 5 хв (рис.1).

Відповідно до аналізу поверхонь відгуку встановлено, що найбільший вплив на вказані функції має тривалість луциння тоді як тривалість пропарювання характеризується неістотним впливом.

Встановлено, що підвищення виходу крупи плющеної та зменшення кількості відходів не нівелюються збільшенням енергоємності технологічних процесів. Тому раціонально пропарювати та темперувати крупу за індексу луциння 9 % впродовж 5 хв.



**Рис.1. Поверхні відгуку функцій залежно від тривалості лушіння та пропарювання а-вихід, б- загальна кулінарна оцінка, в- вологість, г-вміст відходів I і II кат.**

### Висновки

Експериментальні дослідження процесів лушіння та водно-теплової обробки дали можливість встановити раціональні режими пропарювання, темперування та індексу лушіння зерна. Математичний опис процесу сушіння за ортогональним композиційним планом другого порядку та отримані рівняння квадратичної регресії підтверджують правильність вибраних технологічних режимів.

### Література

- 1 Швецова И.А. Хлебопекарные свойства муки повышенной дисперсности из цельносомлотого зерна пшеницы / И.А. Швецова, Б.М. Максимчук, Н.А. Попов // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 1985. – №6. – С.32–35.
- 2 Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна / І.Т. Мерко, В.О. Моргун В.О. ; Одеса: Друк, 2001. – 348с.
- 3 Ермаков Р.Б. Экспериментальное исследование процесса непрерывного пропаривания зерна гречихи / Р.Б. Ермаков, В.А. Марьин, А.Н. Блазнов // Переработка продукции сельского хозяйства – Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – № 3. – 2014. – С. 114–119.
4. Хосни Р.К. Зерно и зернопереработка / Р.К. Хосни ; СПб: Профессия, 2006. – 336с.
5. Фесенко К.М. Найкращими властивостями відрізняються пластівці з тритикале, отримані методом пропарювання зерна під тиском 0,17 МПа впродовж 6 – 8 хв. / К.М. Фесенко // Зерно і хліб. – 2009. – №2. – С. 25 – 26.
6. Петренко В.В. Влияние систем земледелия на технологические свойства зерна и муки пшеницы озимой в процессе хранения / В.В. Петренко// Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №12.– С. 30 – 32.