

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ ЗЕРНА

**Саксон О.В.**

здобувач вищої освіти ступеня Магістр

**Лапенко Т.Г.**

к.т.н., доцент кафедри безпеки життєдіяльності, доцент

**Дрожчана О.У.**

старший викладач кафедри безпеки життєдіяльності

*Полтавський державний аграрний університет*

*м. Полтава, Україна*

При дослідженні режимів виробництва пластівців із зерна обробляли зерно ячменю та гороху. Методика проведення досліджень була наступною. Зерно зволожували водою в змішувачі лопатевого типу та направляли в бункер для відволоження. Кількість води, що додається в змішувач, розраховували виходячи із вихідної та заданої вологості за формулою [1]:

$$M = \frac{Q(W_2 - W_1)}{100 - W_2} \quad (1)$$

де  $Q$  - продуктивність лінії, кг/год.;

$W_1$  - початкова вологість зерна, що надходить на зволоження, %;

$W_2$  - вологість, до якої необхідно довести зерно внаслідок зволоження, %;

100 - максимальний вміст води у продукті, %.

Потім зерно пропарювали у пропарювачі лопатевого типу до температури 80-100 °С. Тиск пари становив 0,22-0,32 МПа, температура - 130-140 °С, витрата пари - 120-220 кг/т (1,320-2,420 кг/кг·хв). Плющення пропареного зерна проводили на двовалковій плющилці при швидкості обертання валків 11,4 м/с та 7,6 м/с. Для отримання пластівців різної товщини змінювали зазор між валками у межах від 0,1 до 1,0 мм. Сушіння пластівців проводили на сушарці з ситом, яке розташоване під нахилом, під час продування гарячого повітря через шар пластівців. Потік гарячого повітря подавався вентилятором через паровий калорифер. Температура сушильного агента становила 95-98 °С, час сушіння - 7-13 хв. Сушіння здійснювали до вологості пластівців 8-12% .

Вибір інтервалів зміни факторів обумовлений технологічними умовами процесу плющення, технічними характеристиками плющильної машини. При проведенні досліджень як критерій оцінки ефективності процесу плющення приймали вміст розчинних вуглеводів у пластівцях ячменю та гороху  $Y$ . Факторами, що варіюються були:

$X_1$  - вологість зволоженого продукту, %;

$X_2$  - тривалість пропарювання, хв.;

$X_3$  - вологість пластівців, %;

$X_4$  - зазор між валками, мм.

Всі ці фактори сумісні та некорельовані між собою. Межі зміни досліджуваних факторів наведено у таблиці 1.

Вибір критерії оцінки – вміст розчинних вуглеводів у пластівцях  $Y$  обумовлений їх найбільшою значимістю для процесу плющення. Він визначає глибину фізико-хімічних змін поживних речовин під час плющення.

Програма досліджень була закладена у матрицю планування експерименту [2].

Таблиця 1 - Межі зміни вхідних факторів

Умови планування	Межі зміни факторів			
	$X_1$ , %	$X_2$ , год.	$X_3$ , %	$X_4$ , мм
Основний рівень	18	4	5,5	0,7
Інтервал варіювання	0,5	0,5	0,3	0,1
Верхній рівень	20	6	12,8	1,0
Нижній рівень	16	2	4,8	0,3
Верхня «зіркова точка»	18,0	4,8	8,8	0,8
Нижня «зіркова точка»	17,0	3,7	5,2	0,6

Для дослідження було обрано дробовий факторний експеримент  $2^{5-1}$  з дробовою реплікою  $X_5 = X_1X_2X_3X_4$ . Порядок дослідів ранжували за допомогою таблиці випадкових чисел, що унеможливило вплив неконтрольованих параметрів на результати експерименту.

При обробці результатів експерименту було застосовано такі статистичні критерії: перевірка однорідності дисперсії – критерій Кохрена, важливість коефіцієнтів рівнянь регресії – критерій Стюдента, адекватність рівнянь – критерій Фішера [2].

Взаємозв'язок чотирьох основних технологічних параметрів, що визначають ефективність обробки зерна зволоженням, пропарюванням і плющенням, апроксимований рівнянням множинної регресії. Встановлено, що найбільшу адекватність мають квадратичні моделі.

Отримані наступні рівняння регресії:

Для пластівців із зерна ячменю:

$$Y = 0,753 + 0,9936X_1 + 0,5131X_2 - 0,2296X_3 - 8,7635X_4 - 0,02128X_1^2 + 0,00037X_1X_2 - 0,0712X_1X_3 - 0,1375X_1X_4 - 0,03398X_2^2 - 0,01929X_2X_3 + 0,15007X_2X_4 + 0,3142X_3^2 - 0,06841X_3X_4 + 1,56X_4^2 \quad (2)$$

Для пластівців із гороху:

$$Y = 28,27 - 0,2009X_1 - 0,6209X_2 + 1,049X_3 + 5,4798X_4 - 0,03656X_1^2 + 0,08313X_1X_2 + 0,01402X_1X_3 - 0,8086X_1X_4 + 0,02883X_2^2 + 0,1876X_2^2 - 2,4914X_2X_4 - 0,08577X_3^2 - 2,6801X_3X_4 + 21,805X_4^2 \quad (3)$$

Через малі обсяги вибірки рівняння (2) і (3) являють собою практично функціональні квадратичні залежності при коефіцієнті кореляції  $R=1,0$ . Середнє квадратичне відхилення становило 0,4999, критерій Фішера  $F = 0,8199$ , середня відносна помилка - 6,3%.

Рішення отриманих рівнянь регресії дозволило визначити раціональні режими, за яких має місце найбільша ефективність процесу зволоження, пропарювання та плющення пластівців ячменю та гороху (табл. 2).

Таблиця 3.5 – Раціональні режими плющення ячменю та гороху

Найменування зерна	Вологість зволоженого водою зерна, %	Час відволожування, год.	Температура пропареного зерна, °С	Зазор між валками плющилки, мм
Ячмінь	16,0-17,0	2-3	95-100	0,3-0,6
Горох	17,0-19,0	4-6	95-100	0,8-1,0

В таблиця 2 представлені раціональні значення факторів, що забезпечують найкращі умови роботи обладнання та найбільші значення вмісту розчинних і легкогідролізованих вуглеводів.

Аналіз рівнянь регресії (3.2) - (3.3) дозволяє виділити фактори, що найбільше впливають на аналізований процес. Ступінь впливу параметрів відносно один одного  $b_1 = - 0,4$ ;  $b_2: b_3 = 4,2$ ;  $b_2: b_4 = - 9,8$ ;  $b_2: b_5 = - 0,9$ ; причому знак плюс перед коефіцієнтом при лінійних членах вказує на те, що зі збільшенням вхідного параметра значення вихідного параметра збільшується, а знак мінус - зменшується.

На вміст розчинних вуглеводів у пластівцях, найбільший вплив має конструктивний параметр, найменший – коефіцієнт живого перерізу матриці.

Отримані рівняння (2), (3) нелінійні.

Таким чином, в результаті виконання дослідів отримано інформацію про вплив факторів і побудовано математичну модель процесу, що дозволяє розрахувати вміст розчинних вуглеводів у пластівцях усередині обраних інтервалів варіювання вхідних факторів.

### Список використаних джерел

1. Дяченко Л.С., Бомко В.С., Сивик Т.Л. Основи технології комбікормового виробництва: навч. посіб. Біла Церква, 2015. 306 с.
2. Вовк В. М., Зомчак Л.М Оптимізаційні методи і моделі: навч. посібн. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2014. 360 с.