

УДК 664.66.085.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ СУШКИ ОВОЩЕЙ

© Ш.М. Маматов

Ключевые слова: технология; влажность; испаренной; коэффициенты регрессии; скорости сушки.

Проведена математическая обработка результатов экспериментального исследования сушки овощей: картофель, морковь, лук, баклажан, капуста.

Проведена математическая обработка результатов экспериментального исследования сушки овощей: картофель, морковь, лук, баклажан, капуста. Планирование экспериментов осуществлено для каждого из значений факторов k на двух уровнях, т. е. реализован полный факторный эксперимент или план 2^k . Границы исследований области по данному технологическому параметру определяют уровни факторов. В нашем случае на выходной параметр $W_{ост}$ остаточная влажность овощей влияют три параметра: t_b – температура рабочего агента в диапазоне $55 - 65\text{ }^{\circ}\text{C}$; δ – толщина овощей 4–8 мм; W_H – начальная влажность овощей в диапазоне 85–90,3 %.

Верхний уровень по температуре рабочего агента $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, нижний уровень $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta t_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$t_1^0 = \frac{t_6^{max} + t_6^{min}}{2} = \frac{70 + 40}{2} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}; \quad \Delta t_1^0 = \frac{t_6^{max} - t_6^{min}}{2} = \frac{70 - 40}{2} = 15\text{ }^{\circ}\text{C};$$

Вообще для любого фактора имеем:

$$i = 1, 2, \dots, k, \quad \Delta t_i^0 = \frac{t_i^{max} - t_i^{min}}{2}. \quad (1)$$

Точка с координатами $t_1^0, t_2^0, t_3^0, \dots, t_k^0$ является центром плана, а Δt_i – интервал варьирования температуры. В безразмерной системе координат для приведенных значений температуры введём обозначения $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$. Тогда формула перехода имеет вид:

$$x_i = \frac{t_i - t_i^0}{\Delta t_i}; \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (2)$$

В этой системе координат верхний уровень равен +1, нижний –1, координаты центра плана равны нулю и совпадают с началом координат. В нашей задаче $k = 3$. Число возможных комбинаций N из трёх факторов на двух уровнях равно $2^k = 8$. Составляем матрицу планирования, и матрицу планирования с фиктивной переменной.

Пользуясь планом, сначала вычислим коэффициенты регрессии линейного уравнения

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3, \quad (3)$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{0i} y_i}{N} = 1,34; \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{1i} y_i}{N} = -0,16; \quad b_2 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{2i} y_i}{N} = 0,59; \quad b_3 = \frac{\sum_{i=1}^8 x_{3i} y_i}{N} = -0,5.$$

Подставляя значения коэффициентов b_i в уравнение (3) получим

$$y = 1,34 - 0,16x_1 + 0,59x_2 - 0,5x_3.$$

Более полное уравнение регрессии с коэффициентами взаимодействия можно представить в следующем виде:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3.$$

Для определения коэффициентов, отражающих эффекты двойного взаимодействия b_{12} , b_{13} , b_{23} и коэффициента, фиксирующего эффект тройного взаимодействия b_{123} , необходимо расширить матрицу планирования с фиктивной переменной. Расширенная матрица планирования с фиктивной переменной. Дополнительные коэффициенты регрессии имеют следующие значения:

$$b_{12} = \frac{\sum_{i=1}^6 (x_1x_2)_i y_i}{N} = 0,14; \quad b_{13} = \frac{\sum_{i=1}^6 (x_1x_3)_i y_i}{N} = -0,36; \quad b_{23} = \frac{\sum_{i=1}^6 (x_2x_3)_i y_i}{N} = -0,63;$$

$$b_{123} = \frac{\sum_{i=1}^6 (x_1x_2x_3)_i y_i}{N} = -0,1.$$

Подставляя вычисленные коэффициенты регрессии, получим линейное уравнение:

$$y = 1,33 - 0,45x_1 + 0,59x_2 - 0,5x_3 + 0,14x_1x_2 - 0,36x_1x_3 - 0,63x_2x_3 - 0,1x_1x_2x_3.$$

Среднеквадратическое отклонение экспериментальных значений остаточной влажности высушенного продукта от расчетных составляет

$$\sigma = \frac{100}{\Delta W_{\max}^2 - \Delta W^2} \cdot \sqrt{\frac{\sum \Delta W^2(Y)}{8}} = 3,39\%$$

где $\Delta W_{\max}$ – максимальное значение испаренной влаги, определенной расчетным путем, м; $\Delta W_{\min}$ – минимальное значение экспериментально определенной величины испаренной влаги, %; n – число экспериментов. Отсюда можно заключить, что теоретические и экспериментальные показатели согласуются между собой с достаточной точностью.

С целью получения математического выражения зависимости скорости сушки, коэффициента сушки и критической влажности продукта от влияющих факторов, процесс сушки овощей исследован методом математического планирования.

Обработка результатов выполненных экспериментов по данным, позволила получить уравнение для расчёта средних значений постоянной скорости сушки в первый период процесса N , коэффициента сушки во второй период процесса K и критической влажности $W_{кр}$.

Анализ результатов экспериментов показывает, что применение максимальных значений плотности импульса ИК-лучей q , нагрузки σ и температуры подаваемого воздуха t_e приводит к неравномерной сушке, а при их минимальных значениях к недосушке продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1973.
2. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. М.: Пищевая промышленность, 1976.
3. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984.

Mamatov Sh.M. MATHEMATICAL PROCESSING OF RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF DRYING VEGETABLES

Mathematical processing of results of a pilot study of drying of vegetables is carried out: potatoes, carrots, onions, eggplant, cabbage.

Key words: technology; humidity; evaporation rates; regression coefficients; drying speed.