

Известно, что особое место в питании человека занимают бахчевые культуры (на примере тыква). В настоящее время бахчевые культуры в основном перерабатываются на сушеные изделия, но отсутствует утвердившаяся промышленная технология и серийно выпускаемое оборудование, которое могло бы быть установлено на предприятиях.

Спрос на мировом рынке на сушёные продукты нашего региона большой, поэтому необходимо воспользоваться благоприятной ситуацией и заработать для страны валюту.

Традиционно бахчевые культуры (на примере тыква) сушатся естественным путем. Для этого дыня, арбуз и тыква очищается от кожуры, удаляются семена, а твёрдая мякоть нарезается на ломтики определенной толщины. На частных предприятиях постепенно появляются установки, где используются контактные, конвективные, кондуктивные способы сушки тыквы. Однако, зачастую они реализуются без расчётов, обоснованных результатами научно-экспериментальных исследований.

Организация промышленной сушки тыквы позволит увеличить объем их выработки в сельском хозяйстве, уменьшить потери ценного продукта, создать производственные мощности и, следовательно, рабочие места, а также накопить запас продукции, реализуемой на мировом рынке.

Решение рассматриваемой задачи возможно путем теоретического и экспериментального исследования предлагаемого смешенного процесса и целенаправленного проектирования процесса сушки тыквы. При этом наиболее целесообразна плодотворна методология системного анализа с последующей разработкой математической модели процесса. Подобный подход к решению задачи организации сушки дыни позволяет использовать готовые модели, пригодные для целей оптимизации процесса и автоматизированного проектирования сушильной установки.

Планирование экспериментов осуществлено для каждого из значений факторов k на двух уровнях, то есть 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 дыни) влияют три параметра: t_b - температура рабочего агента (в диапазоне 55-65⁰С); δ - толщина сырья (4-8 мм); W_n - начальная влажность сырья (в диапазоне 85-90,3%).

Верхний уровень по температуре рабочего агента 70⁰С, нижний уровень $t = 40^0$ С, $t = 55^0$ С, $\Delta t_1 = 15^0$ С.

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

Вообще для любого фактора имеем :

$$i = 1, 2, 3, \dots, k \quad \Delta t_i^0 = \frac{t_i^{\max} - t_i^{\min}}{2}; \quad (1)$$

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:

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

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 $2^k = 8$. Матрица планирования имеет вид, изображённый в виде табл. 2.

таблица 2. Матрица планирования экспериментов

Значения факторов в натуральном виде				Экспериментальное значение влажности		
№ опыта	t_b	δ	W_n	$W_{ост}, \%$	$\Delta W, \%$	$\frac{\Delta W}{W_{ост}}$
1	70	8	85	28,9	71,1	2,46
2	70	8	90,3	67,6	32,4	0,48
3	70	4	85	59,0	41,0	0,69
4	70	4	90,3	68,8	31,2	0,45
5	40	8	85	21,4	78,6	3,67
6	40	8	90,3	47,0	53,0	1,13
7	40	4	85	65,3	34,7	0,53
8	40	4	90,3	43,5	56,5	1,29

таблица 3. Матрица планирования с фиктивной переменной

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	y
1	+1	+1	+1	-1	2,46
2	+1	+1	+1	+1	0,48
3	+1	+1	-1	-1	0,69
4	+1	+1	-1	+1	0,45
5	+1	-1	+1	-1	3,67
6	+1	-1	+1	+1	1,13
7	+1	-1	-1	-1	0,53
8	+1	-1	-1	+1	1,29

Учитывая свойств ортогональности полученной матрицы планирования и вводя фиктивную переменную, получим матрицу планирования, изображённую в виде табл. 3.

Пользуясь планом, представленным в виде табл. 2., получим

$$y = 1,33 - 0,45 x_1 + 0,59x_2 - 0,5x_3 \quad (3)$$

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

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2 x_3 \quad (4)$$

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 (табл.3) к виду, представленному в табл. 4.

таблица 4. Расширенная матрица планирования с фиктивной переменной

№ опыта	x_0	x_1	x_2	x_3	$x_1 x_2$	$x_1 x_3$	$x_2 x_3$	$x_1 x_2 x_3$	y
1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	2,46
2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0,48
3	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	0,69
4	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	0,45
5	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	3,67
6	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	1,13
7	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	0,53
8	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	1,29

С помощью вычисленных коэффициентов регрессии, получим более полное линейное уравнение регрессии

$$y = 1,33 - 0,45x_1 + 0,59x_2 - 0,5x_3 - 0,15x_1x_2 - 0,05x_1x_3 - 0,63x_2x_3 + 0,19x_1x_2 x_3 \quad (5)$$