



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПРЕДЕЛОВ ПРОЦЕССА СУШКИ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА БОКСА-УИЛСОНА

Рахманова Т. Т.

Самандарова И. И.

Тилавов А. У.

Ташкентский государственный технический университет

Республика Узбекистан, г. Ташкент

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматривается задача оптимизации процесса сушки плодов шиповника. Для определения оптимальных условий сушки использован метод Бокса–Уилсона, основанный на градиентном подходе к поиску экстремума. Исследовано влияние параметров сушки, включая инфракрасное излучение, частоту и амплитуду вибрации. На основе экспериментальных данных определены наиболее эффективные условия проведения процесса. Также проведена статистическая оценка с использованием критерия Фишера, по результатам которой установлена влажность высушенного продукта. В статье представлены научные основы оптимизации технологического процесса на базе анализа экстремумов многопараметрических функций.

Ключевые слова: плоды шиповника, процесс сушки, оптимизация, метод Бокса–Уилсона, инфракрасное излучение, вибрация, градиент, параметры сушки, критерий Фишера, влажность, многопараметрические функции.

Введение

Оптимизация - это процесс определения наилучших, то есть оптимальных условий для осуществления технологического процесса. К процессу оптимизации подходят как к математической задаче поиска экстремумов много переменных функций [1].

Метод Бокса–Уилсона основан преимущественно на градиентном методе поиска экстремума (оптимума). Поэтому на первом этапе необходимо оценить



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

линейную часть модели, чтобы определить составляющие градиента и его направление. Поскольку в реальных условиях исследуемого объекта используются входные переменные, измеряемые в физических величинах, при оценке компонентов градиента следует учитывать значения интервалов изменения каждого фактора [2].

Материалы и методы исследования

Данный метод позволяет осуществлять поиск оптимума в два этапа:

- пошаговое краткое восхождение в области, близкой к оптимуму. На этом этапе эксперименты проводятся сериями в направлении быстрого повышения (или понижения) выходного параметра с целью приближения к оптимуму по градиенту функции;
- непосредственный поиск в области оптимума. На этом этапе используется план эксперимента второго порядка [3].

Математическое описание процесса в нормированных переменных будет выглядеть следующим образом:

$$y = 16,312 - 2,687 \cdot x_1 + 0,187 \cdot x_2 + 0,062 \cdot x_3$$

После того, как уравнение регрессии получено, его адекватность проверяется с помощью критерия Фишера.

$$F_p = \frac{s_{ad}^2}{s_y^2}$$

здесь: s_{ad}^2 - дисперсия адекватности, значение которой рассчитывается по формуле:

$$s_{ad}^2 = \frac{1}{N-m} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - \hat{y}_j)^2$$

здесь: N – число полного факторного эксперимента; m -число коэффициентов регрессии уравнения; \bar{y}_j, \hat{y}_j – j – m средние экспериментальные и расчетные значения функции отклонения в эксперименте; $N - m = f_{ad}$ степень свободы является числом и зависит от оценки дисперсии адекватности.



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

Результаты и обсуждения

Если моделируемый объект недостаточно изучен и нет возможности построить детерминированную модель, то математическая модель процесса строится методом экспериментального статического моделирования. При этом статистический материал собирается методом активного или пассивного исследования [3,4].

Проверка модели на адекватность

Средний	По модели	Дисперсия
17,50	18,44	1,7578125
13,50	13,06	0,3828125
19,50	19,56	0,0078125
14,50	14,19	0,1953125
20,50	19,56	1,7578125
13,00	14,19	2,8203125
18,50	18,44	0,0078125
13,50	13,06	0,3828125

Адекватность уравнения регрессии выражается выполнением следующего условия:

$$F_x \leq F_{\text{ж}}$$

Здесь: F-значение критерия Фишера.

Значение критерия Фишера равно: $F=1,78$, число степеней свободы большой и малой дисперсий $k_1 = 7$ и $k_8 = 8$.

Математическое выражение процесса в натуральных переменных выглядит следующим образом:

$$y = 16,312 - 2,687 \cdot (x_1 - 60) / 1 + 0,187 \cdot (x_2 - 0,014) / 0,008 + 0,062 \cdot (x_3 - 9,05) / 0,22$$

из этого:

$$y = 173,23 - 2,687 \cdot x_1 + 23,375 \cdot x_2 + 2,81 \cdot x_3$$

здесь: x_1 -температура сушки, Т; x_2 -амплитуда, А; x_3 частота, F; y - влажность высушенной массы, %.



E CONF SERIES



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

Полученное математическое выражение содержит линейную составляющую. Поэтому максимальное значение результатов сушки плодов шиповника должно находиться в пределах опытного участка. По этой причине можно изменять результаты сушки плодов шиповника, изменяя режимы процесса. В этом случае рекомендуется использовать метод Бокса-Уилсона для оптимизации параметров исследуемого процесса [2].

Вокруг исходной точки, принятой в качестве центра, строится 2^k-факторный эксперимент. Для определения координат первой точки необходимо воспользоваться следующим произведением [5]:

Затем, согласно процедуре, из всех значений δ_j выбирается максимальное, которое принимается в качестве базового значения. В этом случае $\delta_0 = \delta_1 = 1$. Для переменного фактора максимальное значение принимается за базовое, и для данной переменной выбирается базовый шаг δ_j .

На основе вышеуказанной информации получаем следующую таблицу.

Модель: $y = 173,23 - 2,687 \cdot x_1 + 23,375 \cdot x_2 + 2,81 \cdot x_3$								
		Факторы			Результаты			
Название		Температура сушки, °C	Амплитуда, м	Частота, Гц	Параметры вывода			
Начальная точка		60	0,014	9,05				
Рабочий шаг		1	0,0005	0,005				
Номер шага	Тип эксперимента				По модели	Эксперименты	Средний	
					\bar{y}	y_2	y_1	y
1	M	59,00	0,0135	9,045	13			
2	M	58,00	0,013	9,04	14			
3	M	57,00	0,0125	9,035	15			
4	P	56,00	0,012	9,03		18	18	18
5	M	55,00	0,0115	9,025				
6	P	54,00	0,011	9,02		16	16	16
7	M	53,00	0,0105	9,015				
8	P	52,00	0,01	9,01		14	12	13
9	M	51,00	0,0095	9,005				
10	P	50,00	0,009	9		24	22	23
11	P	49,00	0,0085	8,995		22	20	21
12	P	48,00	0,008	8,99		20	18	19
13	P	47,00	0,0075	8,985		18	16	17
14	P	46,00	0,007	8,98		16	14	15
15	P	45,00	0,0065	8,975		14	12	13
16	P	44,00	0,006	8,97		12	10	11
17	P	43,00	0,0055	8,965		10	8	9
18	P	42,00	0,005	8,96		8	6	7



E CONF SERIES



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

Примечание: М-модельные эксперименты; Р-расчёты эксперименты. Цель эксперимента – определить новое направление градиента для процедуры, реализуемой по методу Бокса–Уилсона. Это составляет содержание второго цикла данной процедуры.

Рассчитанное значение критерия Фишера: $F_x=1,78$; число степеней свободы для большой и малой дисперсий соответственно: $k_1=7$ и $k_2=8$. Табличное значение критерия Фишера: $F_j=3,50$.

Сравнение по неравенству $F_h \leq F_j$, то есть $1,78 \leq 3,50$, показывает, что влажность высушенной массы составляет $W=16$.

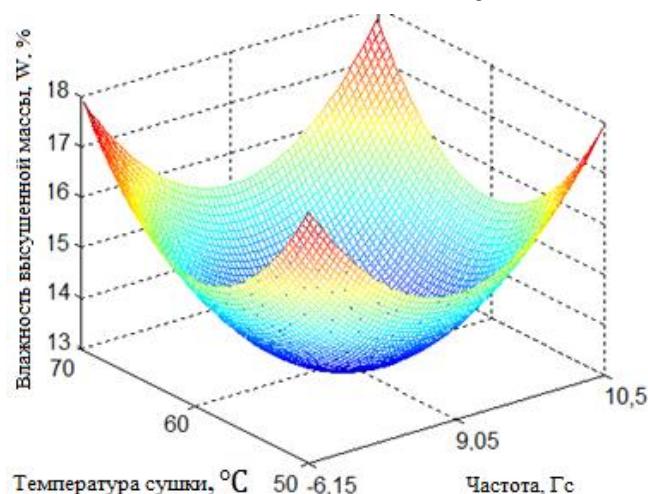


Рис.1. График зависимости влажности высушенной массы от температуры и частоты сушки в сушильном аппарате.

Заключение

В экспериментальной установке была рассмотрена задача моделирования и оптимизации процесса бланшированной сушки экспериментально-статистическим методом, а оптимальные значения процесса были найдены с помощью метода бокса-Вильсона. В программе MATLAB по уравнениям регрессии построены графики зависимости между факторами, влияющими на процесс - температурой сушки, амплитудой, частотой.



E CONF SERIES



International Conference on Economics, Finance, Banking and Management

Hosted online from Paris, France

Website: econfseries.com

24th June, 2025

Список литературы:

1. Бояринов А.И, Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. Изд. второе, перераб. и доп. - М.: Химия, 1975. - 576 с.
2. Юсуфбеков Н.Р., Мухаммедов Б.Э., Гуломов Ш.М. Системы управления технологическими процессами: Учебное пособие для технических вузов. - Ташкент: Учитель, 1997. - 704 с.
3. Остапчук Н.В. Основы математического моделирования процессов пищевых производств: Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - К.: Высща школа, 1991. - 367 с.
4. Юсупбеков н.р., Мухитдинов д. п. основы моделирования и оптимизации технологических процессов. - Т.: наука и технологии, 2015. - 440 С.
5. <https://math.semestr.ru/corel/table-fisher.php>. Распределение Фишера (F-распределение)