

А.Н. МОРОЗ, канд. техн. наук, докторант, ХНТУСХ им. Петра Василенка, Харьков
А.Д. ЧЕРЕНКОВ, доктор техн. наук, проф., ХНТУСХ им. Петра Василенка, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ СУШКИ ШЕРСТИ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Наведено результати повнофакторного експерименту по визначенню оптимальних параметрів сушильної установки вовни безперервної дії з використанням електромагнітних полів крайвисокочастотного діапазону.

Приводятся результаты полнофакторного эксперимента по определению оптимальных параметров сушильной установки шерсти непрерывного действия с использованием электромагнитных полей крайневисокочастотного диапазона.

Введение. Восстановление шерстяной промышленности Украины невозможно без повышения конкурентоспособности предприятий легкой промышленности, занимающихся производством изделий из шерсти, что возможно за счет снижения себестоимости шерстного волокна и повышения его качества. Использование электромагнитной энергии крайневисокочастотного (КВЧ) диапазона при непрерывном процессе сушки шерсти с одновременной интенсивной эвакуацией пара позволит существенно уменьшить потребление энергии для процесса сушки, уменьшить габариты и металлоемкость сушильного оборудования, а также повысить производительность фабрик первичной обработки шерсти.

Важным условием успешного применения электромагнитной энергии КВЧ диапазона при непрерывном способе сушки шерсти является определение оптимальных параметров ЭМ и сушильной установки.

Цель, задание исследования. Определение оптимальных параметров ЭМП при использовании излучений КВЧ диапазона, времени сушки и скорости движения ленточного транспортера в сушильной машине непрерывного действия.

Многофакторный эксперимент. Для определения оптимальных параметров ЭМП для сушки влажной шерсти был проведен многофакторный эксперимент. Для проведения экспериментальных исследова-

ний была использована разработанная сушильная установка с дифракционными источниками электромагнитной энергии с частотой 36 ГГц. Излучение осуществлялось пирамидальным рупором, изготовленным из листовой латуни толщиной 2 мм с помощью пайки. Размер раскрытия рупора 30×20 мм (без учета толщины металла). Рупор выводился на стандартное сечение волновода 7,2×3,4 мм [1].

В сушильной камере были установлены два источника электромагнитной энергии с выходной мощностью по 250 Вт. Шерсть, предназначенная для сушки, располагалась на ленточном транспортере шириной 0,6 м и длиной 5 м, в качестве несущей поверхности транспортера используется тефлоновая сетка с размерами ячеек 8×8 мм, так как этот материал прекрасно переносит микроволновое излучение. Такие сетки обладают высокой прочностью на разрыв, гибкостью и практически нерастяжимы, имеют превосходную химическую стойкость и высокую износостойкость, физиологически инертны и обладают антиадгезионными свойствами, что обеспечивает сохранение природных качеств шерсти. Привод транспортера осуществляется асинхронным двигателем АИР80В4 мощностью 1,5 кВт и частотой вращения 1420 об/мин. Для регулирования скорости движения ленты транспортера (от 0 до 0,15 м/с), в зависимости от влажности шерсти, использовался преобразователь частоты VFD015EL43A. Расчетная скорость движения ленты транспортера 0,1 м/с, расчетная толщина слоя шерсти 0,06 м.

Для отсасывания пара, образующегося при воздействии на влажную шерсть электромагнитного излучения КВЧ, используется тягодутьевая машина ВД-2,7 производительность 1100 м³/час и полным давлением 1400 Па, потребляемая мощность электродвигателя машины 3 кВт.

Параметры сушильной машины следующие: общая потребляемая мощность 5,1 кВт; частота излучения 36 ГГц; напряжение питания 380 В; частота напряжения питания 50 Гц; высота входящего и выходящего отверстий 70 мм; габаритные размеры (длина × ширина × высота) 5080 × 950 × 1750 мм.

В качестве отклика при экспериментальных исследованиях принималась влажность сухой шерсти, которая определялась по формуле

$$\varphi_0 = \frac{m_1 - m_2}{m_2} 100\%, \quad (1)$$

где m_1 – масса влажной шерсти, кг; m_2 – масса сухой шерсти, кг.

В соответствии с ГОСТ влажность сухой шерсти должна составлять 12-19 %, для расчетов принимаем влажность 15 %. Для экспери-

ментов использовалась полутонкая шерсть класса 60^к с влажностью 60 %. Для взвешивания использовались лабораторные технические весы третьего класса точности с пределом взвешивания 1 кг. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Значение факторов и их интервалы варьирования

Интервал варьирования и уровень факторов	Плотность ЭМ энергии, поглощаемой влажной шерстью, Дж/(м ³ ·с)	Объем влажной шерсти, м ³	Время сушки, с
Нулевой уровень $X_i = 0$	4000	0,03	5,5
Интервал варьирования λ_i	2000	0,01	1,0
Верхний уровень $X_i = +1$	6000	0,04	6,5
Нижний уровень $X_i = -1$	2000	0,02	4,5
Кодовое обозначение	X_1	X_2	X_3

Для построения плана второго порядка были использованы данные, приведенные в табл. 2 [2].

Таблица 2 – Исходные данные для построения плана второго порядка

Число факторов, K	Число точек ядра	Число звездных точек, N_α	Число нулевых точек, N_0	Звездные точки, α	Число опытов, N
3	8	6	6	1,682	20

Предварительно были составлены матрица планирования эксперимента, матрица расчета коэффициентов регрессии, расчет дисперсии и адекватности. После экспериментальных исследований и расчетов было получено уравнение регрессии для сушки шерсти электромагнитной энергией КВЧ диапазона

$$u_{ш} = 20,3 - 7,1 X_1 + 6,8 X_2 - 4,3 X_3 + 0,51 X_1 X_2 + 4,414 X_1 X_3 + 2,95 X_2 X_3 + 6,8 X_1^2 + 5,3 X_2^2 + 5,0 X_3^2. \quad (2)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась при уровне значимости $\alpha = 0,05$ по критерию Стьюдента [2, 3]. С учетом значимости коэффициентов, уравнение регрессии для сушки шерсти принимает вид уравнения (2). На основе проверки данного уравнения

на адекватность по критерию Фишера [2, 3] сделан вывод, что уравнение адекватно описывает реальный процесс, и, следовательно, позволяет оценить характер влияния каждого из факторов на функцию отклика. Кроме того, стало возможным практическое использование полученной модели для прогнозирования значений выходного параметра Y в области варьирования параметров X_i .

Оптимальные параметры процесса сушки. Для нахождения оптимальных параметров процесса решена система уравнений, полученных приравниванием к нулю значений градиентов компонентов, вычисленных с помощью выражения

$$\frac{\partial Y}{\partial X_i} = b_i + 2b_{ii}X_i + \sum_{j=1}^n b_{ij}X_j = 0, \quad (3)$$

где X_i, X_j – кодированное значение фактора, по которому берется производная, и взаимодействующего с ним, соответственно; b_i, b_{ii}, b_{ij} – коэффициенты уравнения регрессии.

Для выражения (3) получена следующая система уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial X_1} = -7,1 + 13,6X_1 + 0,51X_2 + 4,14X_3 = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_2} = 6,8 + 0,51X_1 + 10,6X_2 + 2,95X_3 = 0; \\ \frac{\partial Y}{\partial X_3} = -4,3 + 4,14X_1 + 2,95X_2 + 10X_3 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Решение уравнения регрессии (2) дает следующие значения факторов в оптимальной точке: $X_{1оп} = 0,4$; $X_{2оп} = -0,8$; $X_{3оп} = 0,5$, что соответствует таким значениям натуральных параметров: плотность ЭМ энергии

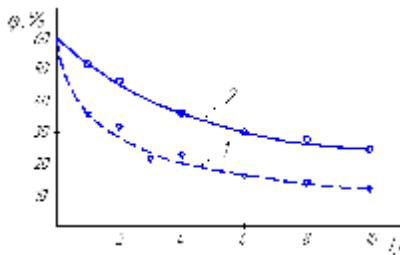


Рис. 1.

поглощаемой влажной шерстью 4800 Дж/(м³·с); объем влажной шерсти 0,022 м³; время сушки 6 секунд (скорость движения транспортера 0,1 м/с). Влажность высушенной шерсти составила не более 15%.

На рис. 1 показаны зависимости влажности шерсти от времени сушки и объемной плотности электромагнитной энергии.

Линия 1 соответствует плотности электромагнитной энергии 5000 Дж/(м³·с), линия 2 – плотности 2500

Дж/(м³·с).

Экспериментальные исследования показали, что при скорости движения транспортера 0,1 м/с необходим источник электромагнитной энергии 500 Вт с частотой излучения 36 ГГц, который обеспечит скорость сушки влажной шерсти 7,5% за секунду.

Выводы. Сушка шерсти, с начальной влажностью 60 % до влажности 15%, в сушильной машине непрерывного действия с дифракционными источниками электромагнитной энергии с частотой 36 ГГц должна осуществляться при следующих параметрах: 2 генератора с выходной мощностью по 250 Вт, толщина слоя шерсти 0,06 м, скорость движения транспортера 0,1 м/с.

Список литературы: 1. *Мороз А. Н.* Обоснование конструктивных параметров и экспериментальные исследования пирамидального рупорного излучателя / *А.Н. Мороз, А.Д. Черенков* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України". – Харків: ХНТУСГ, 2008. – Вип. 73. – Т. 1. – С. 83-85. 2. *Спирidonов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / *Спирidonов А.А.* – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с. 3. *Винарский М.С.* Планирование эксперимента в технологических исследованиях / *М.С. Винарский, М.В. Журье.* – К.: Техника, 1975. – 168 с.



Мороз Александр Николаевич, доцент, канд. техн. наук. Закончил Харьковский институт механизации и электрификации сельского хозяйства в 1984 г. по специальности инженер-электрик. Учился в аспирантуре Московского гидромелиоративного института в 1987-1990 гг., там же защитил диссертацию кандидата технических наук в 1991 г. Директор учебно-научного института Энергетики и компьютерных технологий Харьковского национального технического университета сельского хозяйства с 2009 г.

Научные интересы связаны с процессами первичной обработки шерсти с использованием акустических колебаний и электромагнитных волн сверхвысокой частоты.



Черенков Александр Данилович, профессор, доктор техн. наук. Закончил Харьковский политехнический институт в 1967 г. по специальности инженер-радиотехник. Диссертацию доктора технических наук защитил в 2001 г.

Научные интересы связанные с направлениями использования электромагнитных полей в технологических процессах и исследования их влияния на биологические объекты.

Поступила в редколлегию 11.11.2010