

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОЦЕССА МОЙКИ ШЕРСТИ С ПОМОЩЬЮ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

Мороз А. Н., Черенков А. Д.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Приведено описание экспериментальной установки и оборудования, план проведения пятифакторного эксперимента и его результаты.

Постановка проблемы. Вопросы качественной мойки шерсти с минимальными затратами являются вопросами конкурентоспособности продукции предприятий легкой промышленности Украины. В связи с сокращением объемов производства шерсти предприятиями АПК острым является вопрос загруженности существующих фабрик первичной обработки сырья и использования технологического оборудования, рассчитанного на значительные объемы.

В связи с этим актуальным вопросом является вопрос создания малогабаритного оборудования с уменьшенными энергетическими показателями. Создание такого оборудования возможно на основе использования физических процессов, таких как акустические колебания, в моющем растворе для интенсификации процесса мойки шерсти.

Для мойки шерсти в непрерывном потоке был предложен плоский гидродинамический излучатель [1], способный не только создавать высокоинтенсивные акустические колебания, но и интенсивно удалять их из слоя шерсти за счет направленного потока моющего раствора. Для подтверждения эффективности такого излучателя необходимы экспериментальные исследования.

Анализ последних исследований и публикаций. При проведении экспериментальных исследований мойки шерсти с помощью цилиндрических гидродинамических излучателей при циклическом процессе мойки использовался трехфакторный эксперимент, изменяемыми параметрами являлись частота колебаний, их интенсивность и время мойки [2].

Цель статьи. Определение параметров акустического поля в моющем растворе, создаваемого плоскими гидродинамическими излучателями, при непрерывном процессе ее мойки.

Основные материалы исследований. В лабораторных исследованиях для мойки шерсти с помощью акустических колебаний, создаваемых плоскими гидродинамическими излучателями, была использована установка, общий вид которой показан на рис. 1.

Установка представляет собой прямоугольную емкость длиной 1 м и шириной 0,5 м, с прозрачными стенками для наблюдения за процессом мойки шерсти, которая наполнялась водой объемом 250 л.

Для подачи моющего раствора к плоским гидродинамическим излучателям использовался горизонтальный электронасосный агрегат с центробежным многосекционным насосом НСГ4-60, с подачей 4 м³/час и напором 60 м.

Электронасосный агрегат приводился в движение электрическим двигателем мощностью 1,5 кВт и час-

тотой вращения 2900 об/мин. Давление, создаваемое насосом, измерялось образцовым манометром типа МО11202.



Рисунок 1 – Лабораторная установка мойки шерсти с помощью плоских гидродинамических излучателей

В ходе экспериментальных исследований в ванну между сетками ленточного транспортера помещалась полутонкая шерсть с тониной 43 мкм. Толщина слоя шерсти в ходе экспериментов изменялась в зависимости от плана исследований, соответственно изменялся и модуль ванны от 1:100 до 1:200. Количество шерстного жира в немойтой шерсти составляло 9,6%, пота – 7,8%, минеральных загрязнений – 20,1%. Содержание жира, пота и минеральных загрязнений определялось в лаборатории ЗАО "Харьков-шерсть" до и после мойки шерсти.

Перемещение ленточного транспортера имитировалось перемещением гидродинамического излучателя по направляющим гидравлического лотка, в котором была устроена моющая ванна.

Возбуждение акустических колебаний в ванне осуществлялось плоскими гидродинамическими излучателями (см. рис.2), в которые поступал моечный раствор под напором 30-60 м.в.ст.

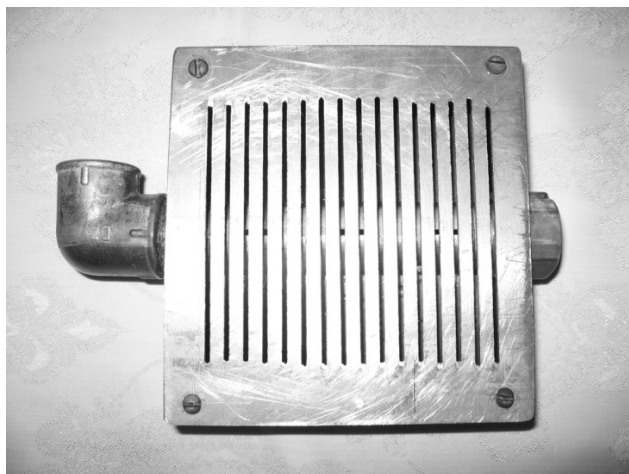


Рисунок 2 – Общий вид плоского гидродинамического излучателя

Регулировка подачи моющего раствора, а соответственно и интенсивности колебаний, осуществлялась с помощью регулировочного вентиля, установленного за насосом.

Частота и интенсивность звуковых колебаний в моечной ванне регистрировалась с помощью специального измерительного оборудования, в состав которого входила следующая аппаратура: гидроакустический датчик (гидрофон, калиброванный по чувствительности) с устройством его фиксации и перемещения в пределах объема ванны; электронный блок (ЭБ) с устройствами для измерения и визуализации уровней спектральных составляющих звуковых и ультразвуковых колебаний в рабочем объеме ванны; персональный компьютер для визуализации звуковых и ультразвуковых колебаний; осциллограф для отладки аппаратуры и регистрации электрических сигналов датчика.

Для проведения измерений в единицах звукового давления гидрофон предварительно калибровался методом замещения с помощью вспомогательных излучателей и эталонных гидрофонов.

Сквозная калибровка всего приемного акусто-электрического тракта в водной среде осуществлялась с учетом величин чувствительности гидрофона и коэффициента передачи электронного усилительно-формирующего тракта для данного спектрального канала.

Для получения зависимости, связывающей значение функции отклика (процентное содержание жира на волокнах шерсти) с параметрами акустического поля при наличии аддитивной помехи случайного характера, применимо полнофакторное планирование второго порядка [3,4].

Значения факторов и их интервалы варьирования приведены в табл. 1.

Для осуществления ротатбельного плана второго порядка, для количества факторов $K=5$, принимали в качестве ядра планирования полуреплику 2^{5-1} [4].

Таблица 1 – Значение факторов рассматриваемого процесса

Интервал варьирования и уровень факторов	Частота звуков. колебаний, кГц	Интенсивность звуковых колебаний, Вт/см ²	Толщина слоя шерсти между решетками, м	Скорость движения транспортера, м/с	К-во преобразования телей, шт.
Нулевой уровень, x_i	1,5	1,0	0,08	0,10	6
Интервал варьирования δ_i	0,5	0,2	0,04	0,05	2
Верхний уровень $x_i = +I$	2	1,2	0,12	0,15	8
Нижний уровень $x_i = -I$	1	0,8	0,04	0,05	4
Кодовое обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5

Тогда уравнение регрессии рассматриваемого процесса определяется выражением:

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + \\
 & + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + \\
 & + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + \\
 & + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 + b_{11}x_1^2 + \\
 & + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{44}x_4^2 + b_{55}x_5^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

где y – выходной параметр;
 x_i – факторы, определяющие протекание процесса (входные параметры);

b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – эмпирически определяемые коэффициенты уравнения регрессии.

Для построения плана второго порядка использовались данные приведенные в табл. 2 [4].

Таблица 2 – Данные для построения ротатбельного 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
5	16	10	6	2	32

При использовании стандартной методики построения планов второго порядка были составлены

матрицы планирования эксперимента, расчета коэффициентов регрессии, определения дисперсии адекватности и результатов обработки данных.

После проведения измерений и расчетов получено уравнение регрессии для остатка жира на шерсти после мойки:

$$y = 2,3 + 1,0x_1 + 1,5x_2 + 1,2x_3 + 2,2x_4 + 1,2x_1x_2 - 1,3x_5 + 1,4x_1x_3 + 2,0x_1x_4 + 1,3x_1x_5 + 1,1x_2x_3 + 1,2x_2x_4 - 1,4x_2x_5 + 1,0x_3x_4 + 1,3x_3x_5 - 1,0x_4x_5 + 1,5x_1^2 + 1,0x_2^2 + 2,0x_3^2 + 1,5x_4^2 + 1,9x_5^2 \quad (2)$$

Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась при уровне значимости $\alpha=0,05$ по критерию Стьюдента [4]. С учетом значимости коэффициентов, уравнение регрессии для мытой шерсти принимает вид уравнения (2).

На основании проверки данного уравнения на адекватности по критерию Фишера [4] 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 . Для нахождения оптимальных параметров процесса решена система уравнений, полученных приравнением к нулю значений градиентов компонентов, вычисленных по выражению

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = b_i + 2b_{ii}x_i + \sum_{j=1}^n b_{ij}x_j \quad (3)$$

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:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial y}{\partial x_1} &= 1,0 + 1,2x_2 + 1,4x_3 + 2,0x_4 + 1,3x_5 + 2 \cdot 1,5x_1 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_2} &= 1,5 + 1,2x_1 + 1,1x_3 + 1,2x_4 - 1,4x_5 + 2 \cdot 1x_2 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_3} &= 1,2 + 1,4x_1 + 1,1x_2 + 1,0x_4 + 1,3x_5 + 2 \cdot 1x_3 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_4} &= 2,2 + 2x_1 + 1,2x_2 + 1,0x_3 - 1,0x_5 + 2 \cdot 1,5x_4 = 0; \\ \frac{\partial y}{\partial x_5} &= 1,9 + 1,3x_1 + 1,4x_2 + 1,3x_3 - 1,3x_4 + 2 \cdot 1,9x_5 = 0 \end{aligned} \right\} (4)$$

Решение системы уравнений (4) дает следующие значения факторов в оптимальной точке: $x_{1on} = -0,8$; $x_{2on} = 0,5$; $x_{3on} = -0,5$; $x_{4on} = 0,1$; $x_{5on} = 1,08$, что соответствует таким значениям натуральных параметров: частоте звукового поля $1,1 \pm 0,1$ кГц, интенсивности звука $1,1 \pm 0,01$ Вт/см², толщина слоя шерсти на транс-

портере $0,06 \pm 0,01$ м, скорость движения транспортера $0,1$ м/с, количество преобразователей на ванну 8 ± 1 штук.

Применение оптимальных параметров в процессе непрерывной промывки шерстяного волокна в водном растворе позволяет получить остаток жира на шерсти в пределах $1,5\%$ при ДСТУ до 2% .

Выводы. Непрерывная промывка шерсти в шерстомойной машине с плоскими гидродинамическими излучателями должна осуществляться при таких параметрах акустических колебаний в мощном растворе: частота звукового поля $1,1 \pm 0,1$ кГц; интенсивность звука $1,1 \pm 0,01$ Вт/см²; толщина слоя шерсти на транспортере $0,06 \pm 0,01$ м; скорость движения транспортера $0,1$ м/с; количество преобразователей на ванну 8 ± 1 штук.

Такие параметры позволяют получить качественную промытую шерсть с остатком жира на волокнах в пределах $1,5\%$.

Список использованных источников

1. Пат. 51672 Україна, МПК D 06 B 1/00, D 06 F 19/00. Плоский гідродинамічний випромінювач акустичних та ультразвукових коливань / Мороз О. М., Черенков О. Д., Свергун Ю. Ф. – № 2010 01236; заявл. 08.02.2010; опубл. 26.07.10, Бюл. № 14.

2. Серета А. І. Обґрунтування та розробка методів і пристроїв для первинної обробки вовни з використанням пружних та електромагнітних коливань: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.16 "Електротехнології та електрообладнання в агропромисловому комплексі" / А. І. Серета. – Харків, 2006. – 20, [1] с.

3. Богданович Н.И. Расчеты в планировании экспериментов / Н.И.Богданович. – Л.: ЛТА, 1978. – 80 с.

4. Винарский М. С. Планирование экспериментов в технологических исследованиях / М. С. Винарский. – К.: Техника, 1975. – 168 с.

Анотація

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО ПРОЦЕСУ МИЙКИ ВОВНИ ЗА ДОПОМОГОЮ АКУСТИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Мороз О. М., Черенков О. Д.

Наведено опис експериментальної установки та обладнання, план проведення п'ятифакторного експерименту і його результати.

Abstract

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CONTINUOUS PROCESS OF WOOL'S WASHING BY ACOUSTIC VIBRATIONS

A. Moroz, A. Cherenkov

Description of the experimental setting and equipment, plan of realization of fivefactor experiment and his results, are produced.