

УДК 621.316:532.232

А. Н. МОРОЗ, канд.техн. наук, доцент

И. А. САСИМОВА, канд. техн. наук, ст. преподаватель

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени

Петра Василенка, м. Харків

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ ШЕРСТИ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Приводятся этапы решения краевой задачи дифракции звуковой волны на слое шерсти, ограниченного металлическими периодическими решетками, в шерстомойной машине с плоскими гидродинамическими излучателями.

Приводяться етапи вирішення крайової задачі дифракції звукової хвилі на шарі вовни, обмеженого металевими періодичними решітками, в машині для мийки вовни з плоскими гідродинамічними випромінювачами.

Постановка проблемы

Важнейшей задачей первичной обработки шерсти (ПОШ) является получение высококачественной шерсти после мойки с минимальными энергетическими затратами. Существующие технологии и оборудование ПОШ характеризуются значительными недостатками [1]: шерсть, промытая в машинах с боронными и грабельными механизмами имеет повышенное содержание минеральных примесей, за счет невозможности получения направленного потока моющего раствора через слой шерсти; в процессе мойки не достигается полное обеззараживание шерсти и моющего раствора; большие габаритно-весовые характеристики оборудования. Создание нового оборудования должно основываться на использовании таких физических факторов как акустические и ультразвуковые колебания в моющем растворе, что в свою очередь требует теоретических исследований.

Анализ последних исследований и публикаций

Для интенсификации процесса мойки шерсти предложен моечный агрегат цилиндрического типа высотой 600 мм и диаметром 2400 мм в котором размещены 16 гидродинамических излучателей расположенных в два круга.

Диаметр первого круга установки четырех излучателей 800 мм, а диаметр второго круга установки 12 излучателей 16002 м [3]. Недостатком этого агрегата является цикличность его работы, что является неприемлемым для непрерывного процесса ПОШ.

Для непрерывной мойки шерсти было предложено использовать гидродинамические плоскошаровые моющие машины, созданные М. Чайкиным и Ж. Р. Мак-Крекеном [3]. Шерсть в барке этой машины перемещается очень тонким слоем в зафиксированном положении между двумя перфорированными лентами с большой скоростью (время нахождения шерсти в пяти барках 10...15 с.). Недостатком работы этих машин является неудовлетворительная промывка шерсти, содержащей значительное количество почвенных и навозных загрязнений (песок остается в шерсти).

Для непрерывной мойки шерсти было предложено устройство [4], на основе использования электрогидравлического эффекта. Недостатками этого устройства является разрушение волокон шерсти под действием искровых разрядов, снижение их прочности на разрыв, интенсивное разрушение поверхности оборудования под действием кавитации и электрохимических процессов, а также опасность поражения электрическим током обслуживающего персонала.

Цель статьи. Разработка теоретических предпосылок для определения геометрических параметров решетчатой ленты шерстомойной машины с плоскими гидродинамическими излучателями.

Основные материалы исследований

Авторами разработано машина (рис. 1) для качественной мойки шерсти с сохранением ее естественных свойств, которое имеет повышенную производительность при меньших расходах воды, моющих средств и электроэнергии. Этот эффект достигается за счет применения плоских гидродинамических излучателей.

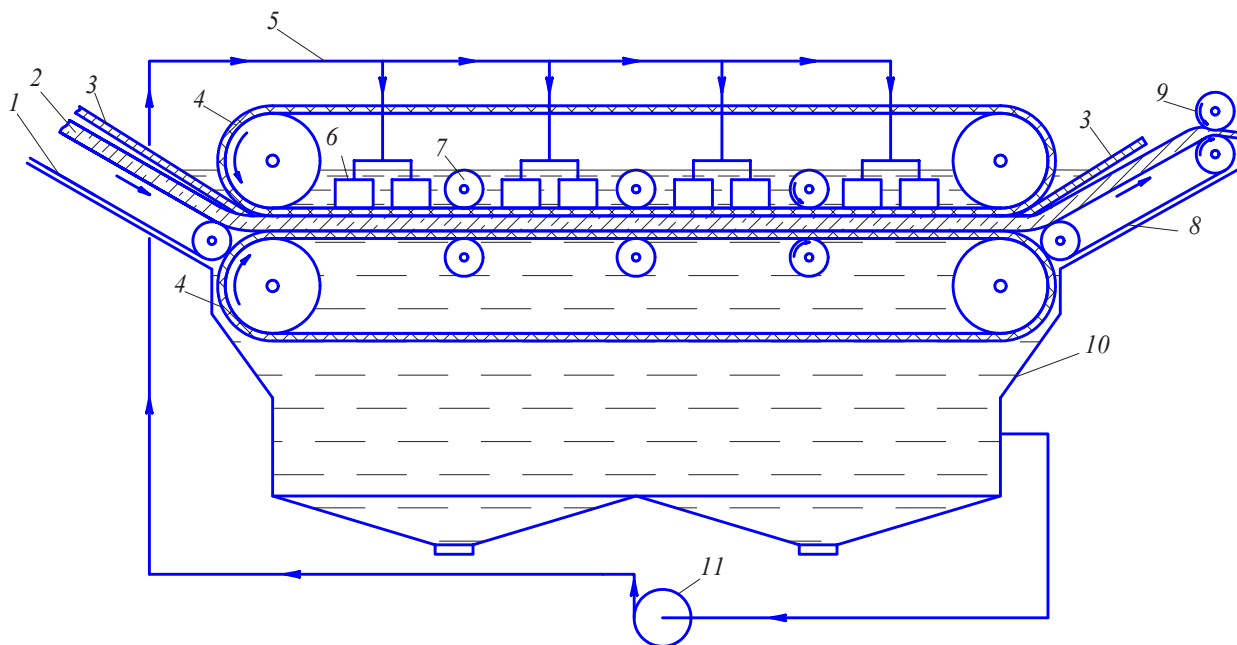


Рис. 1. Шерстомойная машина с плоскими гидродинамическими излучателями

Устройство состоит из узла для подачи шерсти 1, направляющего устройства 3, транспортеров 4 с решетчатой лентой, трубопровода 5 для подачи моечного раствора к плоским гидродинамическим излучателям 6, направляющих валков 7, выгрузочного устройства 8, отжимных валов 9, барки 10 и центробежного насоса 11. Нижний транспортер полностью погружен в моечный раствор барки, а верхний – частично.

Устройство работает следующим образом. Слой шерсти 2 с помощью узла подачи 1 и направляющего устройства 3, которое предотвращает всплытие шерсти, поступает в щель между решетчатой лентой транспортеров 4. При движении вдоль барки шерсть подвергается влиянию акустических и ультразвуковых колебаний, которые генерируются плоскими гидродинамическими излучателями 6, и струями моечного раствора, которые вытекают с большой скоростью из прорезей решетки излучателей. Акустические и ультразвуковые колебания способствуют интенсивному отделению загрязнений от шерсти, а струя жидкости промывает слой шерсти и удаляет эти загрязнения, вынося их в объем барки. Интенсификации удалению загрязнений из шерсти также способствует движение слоя шерсти в объеме моечного раствора барки и неоднократное сжатие слоя шерсти направляющими валками 7. В результате такого комплексного влияния загрязнения интенсивно удаляются из шерсти и выносятся в моечный раствор барки. Центробежный насос 11 осуществляет забор моечного раствора из средней части (по высоте) барки и под давлением подает его к соплам плоских гидродинамических излучателей. Промытая шерсть поступает на выгрузочное устройство 8, которое подает ее к отжимным валкам 9 для удаления избыточной влаги.

Интенсивность генерации звуковых и ультразвуковых колебаний плоскими гидродинамическими излучателями зависит от давления, создаваемого центробежным насосом, и его подачи.

Интенсивность мойки шерсти в свою очередь зависит от интенсивности звуковых и ультразвуковых колебаний, а также от проникновения звуковых колебаний в слой шерсти через металлические периодические решетки.

В этой статье решается вопрос постановки краевой задачи дифракции звуковой волны на слое шерсти, на границах которого расположены металлические периодические решетки. Слой шерсти моделируется сплошной средой с заданной плотностью, коэффициентом вязкости и скоростью распространения звуковых колебаний. Металлические решетки предполагаются идеально жесткими для возбуждающей звуковой волны.

В качестве модели шерсти выбрана сплошная среда, заполняющая слой толщиной h с такими параметрами: ρ_1 – плотность среды; c_1 – скорость распространения звука; η_1 – коэффициент вязкости. Этот слой среды находится в моющей жидкости с плотностью ρ_2 , скоростью распространения звука c_2 и коэффициентом вязкости η_2 . Введем декартовую систему координат таким образом, чтобы слой шерсти можно было задан неравенством: $-h \leq z \leq 0$. В плоскостях $z = 0$ и $z = -h$ находятся металлические периодические решетки с прямоугольной формой отверстий размера $a_x \times a_y$. Периоды решеток вдоль осей x и y соответственно обозначим через ℓ_x и ℓ_y .

Пусть начало введенной декартовой системы координат находится в центре одного из отверстий решетки. Будем предполагать, что решетки бесконечны вдоль осей ox и oy . Далее, предположим, что возбуждающая звуковая волна распространяется в направлении перпендикулярном плоскости решеток (ось oz). Частота f возбуждающей звуковой волны и периоды решеток удовлетворяют неравенствам

$$\frac{\ell_x f}{c_2} \ll 1, \quad \frac{\ell_y f}{c_2} \ll 1, \quad (1)$$

где c_2 – скорость звука в жидкости, в которой находится слой шерсти.

В этом случае основной величиной характеризующей взаимодействие звуковой волны с решетками и слоем шерсти является коэффициент отражения, нормированный на амплитуду возбуждающей волны

$$R = \frac{1}{\ell_x \ell_y A} \int_{-\frac{\ell_x}{2}}^{\frac{\ell_x}{2}} dx \int_{-\frac{\ell_y}{2}}^{\frac{\ell_y}{2}} U(x, y, z) \Big|_{z=0} dy ; \quad (2)$$

где A – амплитуда возбуждающей волны, U – потенциальная функция звуковой волны, отраженной от решетки.

Ближайшей целью является исследование коэффициента отражения как функцию геометрических параметров решетки.

Сформулируем краевую задачу описывающую процесс взаимодействия звуковой волны с решетками, размещенными на границах слоя шерсти. Математическая формулировка задачи состоит в следующем. Пусть U_1 и U_2 потенциальные функции соответственно для слоя среды моделирующей шерсть и жидкость, в которой распространяется возбуждающая звуковая волна. Тогда согласно [5], эти функции должны удовлетворять уравнениям линейной акустики

$$\frac{\partial^2 U_1}{\partial t^2} + \gamma_1 \frac{\partial U_1}{\partial t} - c_1^{-2} \Delta U = 0, \quad -h < z < 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 U_2}{\partial t^2} + \gamma_2 \frac{\partial U_2}{\partial t} - c_2^{-2} \Delta U = 0, \quad z > 0, \quad z < -h, \quad (4)$$

где при гармонической зависимости от времени $(e^{-i\omega t})$

$$\gamma_1 = \frac{4\omega^2 \eta_1}{3c_1^2 \rho_1^2}, \quad \gamma_2 = \frac{4\omega^2 \eta_2}{3c_2^2 \rho_2^2}$$

соответственно коэффициенты затухания в слое шерсти и жидкости.

С помощью потенциальных функций скорость и давление выражаются по формулам [5]

$$\vec{V}_1 = \frac{1}{\rho_1} \text{grad } U_1, \quad P_1 = \frac{\partial U_1}{\partial t} - \gamma_1 U_1, \quad (5)$$

$$\vec{V}_2 = \frac{1}{\rho_2} \text{grad } U_2, \quad P_2 = \frac{\partial U_2}{\partial t} - \gamma_2 U_2.$$

На поверхности решеток должны выполняться граничные условия идеальной жесткости, а именно нормальная к решетке составляющая скорости должна обращаться в нуль. На границе раздела сред задаются условия сопряжения – равенство давлений и нормальных к границе компонент скоростей со стороны жидкости и слоя шерсти. В качестве возбуждающей звуковой волны выбирается плоская звуковая волна, гармонически зависящая от времени, распространяющаяся в направлении обратном оси OZ . Потенциальная функция такой волны имеет вид [5]

$$U^i = A e^{-ik_2 z - i\omega t}. \quad (6)$$

Здесь A – амплитуда волны, $k_2^2 = \frac{\omega(\omega + i\gamma_2)}{c_2^2}$;

c_2 – скорость звука в жидкости, где распространяется волна;

γ_2 – коэффициент затухания.

В общем случае сформулированная задача дифракции является трехмерной. Как отмечено выше, интерес представляет интегральная характеристика звукового поля дифракции как коэффициент отражения (определяемый по формуле (2)). Поэтому с учетом выполнения условий (1) и вида возбуждающей волны (6) исходную трехмерную задачу (3) – (5) можно в первом приближении свести к следующей двумерной задаче.

В предположении, что периоды решеток вдоль осей x и y совпадают, т.е. $\ell_x = \ell_y = \ell$ и размеры отверстий решеток вдоль этих осей так же совпадают, т.е. $a_x = a_y = a$, то в этом случае решетки являются симметричными относительно плоскостей zx и zy . Поэтому для вычисления коэффициента отражения можно усреднить

искомые потенциальные функции, например, по пространственной переменной x и тем самым свести исходную трехмерную задачу к двумерной в плоскости zy . На рис. 2 показано сечение рассматриваемой структуры (решетка и слой шерсти) плоскостью zy . При этом предполагается, что стержни, из которых образованы решетки, имеют круглое поперечное сечение.

Таким образом, задача состоит в решении уравнений (3), (4) при условии, что потенциальные функции звуковых полей в жидкости и слое шерсти не зависят от пространственной переменной x .

Построение решения этой задачи может быть осуществлено по следующей схеме. На первом этапе с помощью метода граничных интегральных уравнений [6] строится решение задачи о дифракции звуковой волны (6) на периодической решетке из круглых стержней, расположенной в жидкости с материальными параметрами ρ_2, c_2, η_2 . В результате решения этой задачи получаются приближенные формулы для длинноволнового случая, а именно, $\frac{f l}{c_2} \ll 1$, где f – частота возбуждающей волны, l – период решетки, c_2 –

скорость звука в жидкости, где находится решетка. На втором этапе в строгой математическом отношении постановке решается задача о прохождении звуковой волны через слой сплошной среды, моделирующей слой шерсти. Предполагается, что решетки отсутствуют. В этом случае удастся получить аналитические выражения для коэффициентов отражения и прохождения звуковой волны, взаимодействующей со слоем шерсти.

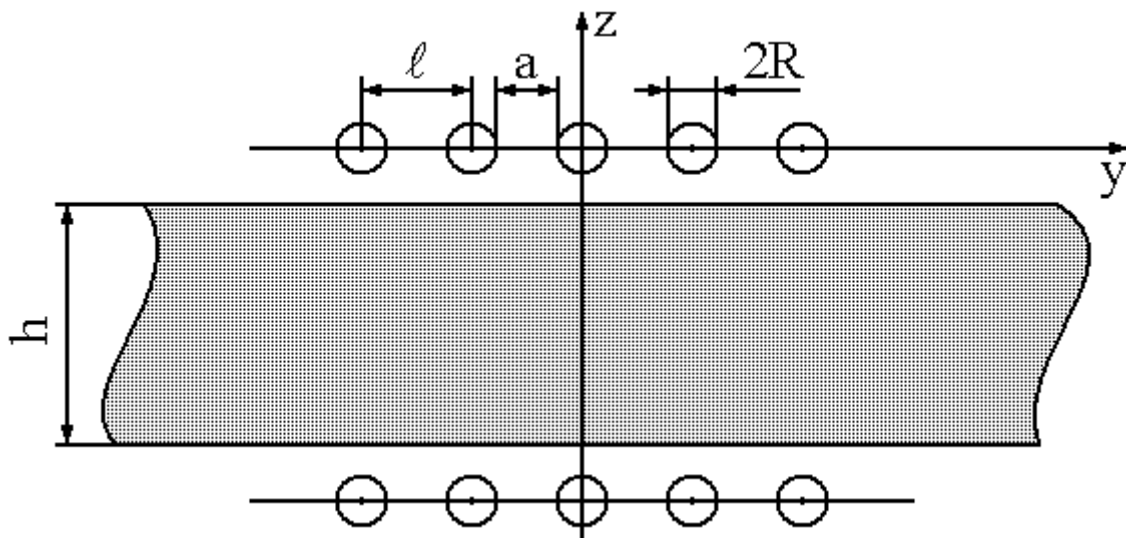


Рис. 2. Поперечное сечение слоя шерсти и экранирующих решеток

На третьем этапе, используя метод матриц рассеяния [6], решается задача о взаимодействии звуковой волны со слоем шерсти экранированного двумя решетками, образованными идеально жесткими круглыми стержнями. В основе решения этой задачи лежит идея построения решения для сложного объекта по известным решениям для его частей [7].

Выводы

Для определения конструктивных параметров решетчатой ленты транспортера шерстомойной машины с плоскими гидродинамическими излучателями необходимо использовать поэтапный подход, приведенный в статье.

Список литературы

1. Мунтян В. А. Анализ технологических процессов и устройств первичной обработки шерсти. Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2010. № 1 (71). С. 62–65.
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. Шерсть. Первичная обработка и рынок. Монография. Под редакцией доктора эконом. наук Н. К. Тимошенко – М.: ВНИИМП РАСХН, 2000 – 600 с.
4. Пат. 2049178 С1 Российская федерация, МКИ D 06 В1/02, D 01 В3/04. Устройство для промывки волокнистого материала / Зайнуллина Э. М., Моцепуро Н. М., Мороков А. А., Тараканов Б. М., Конаш В. В., Лазарев А. В., Прокопович Н. Н., Ковалев Н. И. Заявлено 29.03.93; опубл. 27.11.95. Бюл. № 21.
5. Скучик Е. Основы акустики / Скучик Е. – М.: Мир, 1976, т. 1. – 520 с.
6. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Самарский. – М.: Наука, 1972. – 735 с.
7. Дифракция волн на решетках / [Шестопапов В. П., Литвиненко Л. Н., Масалов С. А., Сологуб В. Г.]. – Харьков: Изд-во Харьк. ун-та, 1973. – 288 с.

**RAISING OF REGIONAL TASK OF DIFFRACTION OF SOUND-WAVE
ON GRATES AND LAYER OF WOOL OF WOOL'S WASHING
MACHINE WITH FLAT HYDRODYNAMIC EMITTERS**

A. N. MOROZ, Cand. Tech. Sci.,
I. A. SASIMOVA, Cand. Tech. Sci.

Led raising stages of decision of regional task of diffraction of sound-wave on the layer of wool, limited metallic periodic grates, in the wool washing machine with flat hydrodynamic emitters.

Поступила в редакцию 18.08 2010 г.