

РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕШЕТКИ СЕТЧАТОГО ТРАНСПОРТЕРА ШЕРСТОМОЙНОЙ МАШИНЫ С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМИ ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ

Мороз А. Н., Черенков А. Д.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Проведены аналитические исследования по определению коэффициентов отражения и прохождения возбуждающей звуковой волны через решетки транспортера и слой шерсти, что позволяет определить оптимальные геометрические параметры решеток шерстомойной машины с гидродинамическими излучателями с целью максимального поглощения энергии возбуждающей звуковой волны в шерсти.

Постановка проблемы. Вопрос минимизации энергозатрат и потребления природных ресурсов является важнейшим вопросом жизнедеятельности человечества. Существующее технологическое оборудование для первичной обработки шерсти характеризуется большими размерами и металлоемкостью, значительным потреблением энергоресурсов и воды. Создание нового оборудования с улучшенными характеристиками возможно на основе разнообразных физических факторов. Одним из таких факторов являются акустические и ультразвуковые колебания, которые успешно применяются в других отраслях промышленности для интенсификации удаления загрязнений [1]. Эти колебания можно также успешно применять для мойки шерсти [2]. Для определения оптимальных параметров моечного оборудования необходимо полно представлять физические процессы происходящие при воздействии колебаний на шерсть, а это невозможно без теоретических и экспериментальных исследований. Некоторые вопросы взаимодействия звуковых колебаний и стержней решетчатой ленты и слоя шерсти рассмотрены в предыдущих работах [3,4,5].

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее эффективными источниками создания акустических и ультразвуковых колебаний в моещем объеме при первичной обработке шерсти являются гидродинамические излучатели [2]. Эти излучатели также создают направленный поток моеющего раствора через слой шерсти, который выносит загрязнения из слоя шерсти в объем моещей барки. Для мойки шерсти в непрерывном технологическом процессе была предложена шерстомойная машина с плоскими гидродинамическими излучателями [3]. Решение вопроса определения конструктивных параметров решетчатой ленты транспортера шерстомойной машины с плоскими гидродинамическими излучателями предложено осуществлять поэтапно. На одном из этапов исследований получены выражения для коэффициентов отражения и прохождения звуковой волны через решетку шерстомойной машины [4]. На следующем этапе приведена методика определения коэффициентов отражения и прохождения возбуждающей звуковой волны через слой шерсти, расположенной на решетчатой ленте шерстомойной машины [5].

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

Основные материалы исследований. В предыдущих работах [3,4,5] были решены вспомогательные задачи дифракции звуковой волны на решетках из идеально жестких стержней и слоя шерсти. Были получены аналитические выражения для соответствующих коэффициентов отражения и прохождения. Используя метод матриц рассеяния и решение этих вспомогательных задач получим коэффициенты отражения и прохождения для слоя шерсти, экранируемого двумя периодическими решетками из идеально жестких круглых стержней.

Пусть R , T – соответственно коэффициенты отражения и прохождения для слоя шерсти и R_1 , T_1 – соответственно коэффициенты отражения и прохождения для периодической решетки. Общая схема решения задачи показана на рис. 1. Здесь h_1 – расстояние между решеткой и границей слоя шерсти, A – амплитуда возбуждающей волны, A_R и A_T – амплитуды, соответственно, отраженной и прошедшей волны для слоя экранированного решетками, величины C , D , C_1 , D_1 – амплитуды волн взаимодействующих с решетками и границами слоя шерсти.

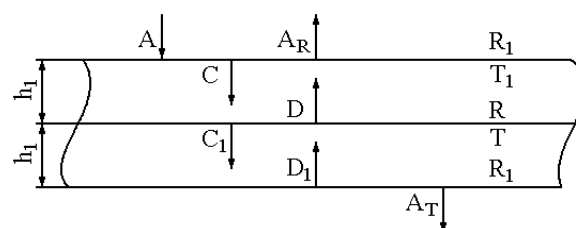


Рисунок 1 – Схема решения задачи методом матриц рассеяния

Нашей целью является определение амплитуды отраженной и прошедшей волны, т.е. величины A_R и A_T . В соответствии с методом матриц рассеяния [6], запишем связи между амплитудами волн. Имеем:

$$A_R = R_1 A + T_1 G D, \quad (1)$$

$$C = T_1 A + R_1 G D, \quad (2)$$

$$A_R = R_1 A + T_1 G D, \quad (3)$$

$$C_1 = T G C + R G D_1, \quad (4)$$

$$D_1 = R_1 G C_1, \quad (5)$$

$$A_T = T_1 G C_1, \quad (6)$$

где $G = e^{i k_2 h_1}$ – фазовый набег между границей слоя шерсти и решеткой.

При известных величинах R, T, R_1, T_1 и A уравнения (1) – (6) являются линейной системой уравнений шестого порядка относительно неизвестных амплитуд A_R, A_T, C, D, C_1, D_1 .

Найдем решение этой системы уравнений. Подставим (5) в (4) и выразим C_1 через C .

Имеем:

$$C_1 = T G C + R R_1 G^2 C_1$$

или

$$C_1 = \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} T G C. \quad (7)$$

Далее, подставляя (7) в (5) получим:

$$D_1 = R_1 G^2 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} T C. \quad (8)$$

Используя (3) и (8) имеем:

$$D = \left[R G + T^2 R_1 G^3 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} \right] C. \quad (9)$$

С помощью (9) и (2) получаем уравнение для нахождения C :

$$C = T_1 A + R_1 G \left[R G + T^2 R_1 G^3 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} \right] C \quad (10)$$

Откуда получаем:

$$C = \left[1 - R_1 G \left[R G + T^2 R_1 G^3 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} \right] \right]^{-1} T_1 A \quad (10)$$

Теперь с помощью (10) легко найти амплитуды A_R и A_T . В самом деле, из (10) и (7) имеем:

$$C_1 = T T_1 G \left[\left(1 - R_1 R G^2\right)^2 - T^2 R_1^2 G^4 \right]^{-1} A \quad (11)$$

Подставляя (11) в (6) получаем:

$$A_T = T T_1^2 G^2 \left[\left(1 - R_1 R G^2\right)^2 - T^2 R_1^2 G^4 \right]^{-1} A \quad (12)$$

Далее из (9) и (10) имеем:

$$D = \left[R G + T^2 R_1 G^3 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} \right] \times \left[1 - R_1 G \left[R G + T^2 R_1 G^3 \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} \right] \right]^{-1} T_1 A = \left[R G \left(1 - R R_1 G^2\right)^{-1} + T^2 R_1 G^3 \right] \times$$

$$\times \left[\left(1 - R_1 R G^2\right)^2 - T^2 R_1^2 G^4 \right]^{-1} T_1 A \quad (13)$$

Подставляя (13) в (1) окончательно получаем:

$$A_R = \left[R_1 + T_1^2 G \left(R G \left(1 - R R_1 G^2\right) + T^2 R_1 G^3 \right) \right] \times \left[\left(1 - R_1 R G^2\right)^2 - T^2 R_1^2 G^4 \right]^{-1} A \quad (14)$$

Таким образом, формулы (12) и (14) дают значения амплитуд прошедшей и отраженной звуковой волны для слоя шерсти экранированного двумя решетками. Полученные соотношения для A_T и A_R можно упростить, если пренебречь фазовым набегом между решетками и границами слоя шерсти, т.е. если $|k_2 h_1| \ll 1$. В этом случае в (12) и (14) следует положить $G = 1$. Тогда получим:

$$\bar{R} = \frac{A_R}{A} = R_1 + \frac{T_1^2 \left[R - R_1 \left(R^2 - T^2 \right) \right]}{\left(1 - R_1 R\right)^2 - T^2 R_1^2} \quad (15)$$

$$\bar{T} = \frac{A_T}{A} = \frac{T T_1^2}{\left(1 - R_1 R\right)^2 - T^2 R_1^2} \quad (16)$$

Коэффициенты отражения R, R_1 и прохождения T, T_1 , как показано в [4,5], вычисляются по следующим формулам:

$$R = \frac{A_+ A_- \left(e^{-i 2 k_1 h} - 1 \right)}{A_-^2 - A_+^2 e^{-i 2 k_1 h}}, T = \frac{e^{-i k_1 h} \left(A_-^2 - A_+^2 \right)}{A_-^2 - A_+^2 e^{-i 2 k_1 h}}; \quad (17)$$

$$R_1 = -i Q \left[\frac{1}{1 + i Q} + \frac{2}{(1 - i Q)^2} \left(1 + \frac{\pi^2 R^2}{3 \ell^2} \right) \right], \quad (18)$$

$$T_1 = 1 - i Q \left[\frac{1}{1 + i Q} - \frac{2}{(1 - i Q)^2} \left(1 + \frac{\pi^2 R^2}{3 \ell^2} \right) \right]. \quad (19)$$

Здесь:

$$A_{\pm} = \frac{\omega + i \gamma_2 \pm k_2 \rho_1}{\omega + i \gamma_1 \pm k_1 \rho_2},$$

$$Q = \pi^2 \chi_2^2 \left(\frac{R}{\ell} \right)^2 \quad \chi_2 = \frac{k_2 \ell}{2 \pi},$$

где h – толщина слоя шерсти, R – радиус поперечного сечения стержня решеток, ℓ – период решеток.

Таким образом, формулы (15), (16) позволяют по заданным материальным параметрам сплошной среды, моделирующей слой шерсти, находящейся в жидкости, и геометрическим параметрам решеток рассчи-

тать коэффициенты отражения и прохождения для возбуждающей звуковой волны. На основе формул (1.63), (1.64) были проведены расчеты с целью определения оптимальных геометрических параметров решеток (радиус стержней, период решеток) при которых коэффициент отражения звуковой волны достигает минимума и тем самым возможно максимальное поглощение энергии возбуждающей звуковой волны в шерсти. На рис.2 приведены результаты расчетов при следующих значениях параметров: $f = 1 \text{ кГц}$ – частота возбуждающей звуковой волны; $y_1 = 0,8$; $c_1 = 100 \text{ м/с}$; $\rho_1 = 1,3 \text{ г/см}^3$ – соответственно коэффициент затухания, скорость звука, плотность в среде – жидкость и шерсть; $h = 10 \text{ см}$ – толщина слоя шерсти. Исследовалась зависимость модуля коэффициента отражения (отношение амплитуды отраженной волны к амплитуде возбуждающей волны) от величины R/l – отношение радиуса стержней к периоду решетки.

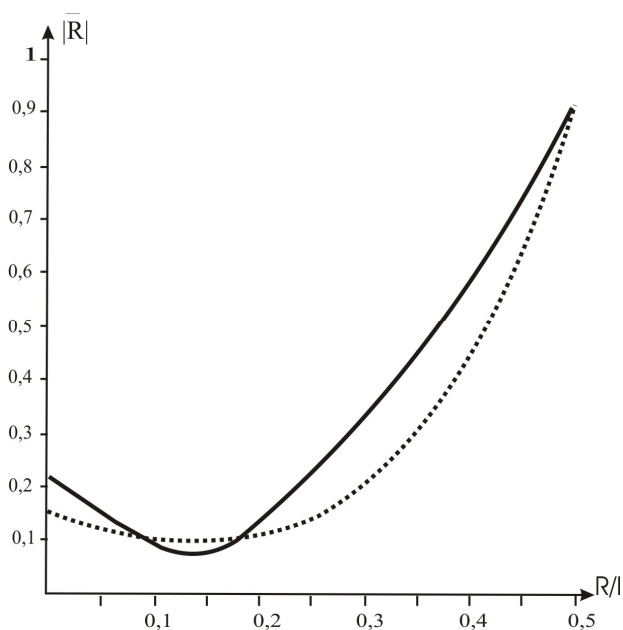


Рисунок 2 – Зависимость модуля коэффициента отражения от отношения радиуса стержней решетки к ее периоду. Сплошная линия – $\rho_1 = 5 \text{ г/см}^3$, пунктирная линия – $\rho_1 = 4 \text{ г/см}^3$.

Анализ расчетов позволяет сделать следующий вывод. Существует оптимальное значение величины $R/l \approx 0,14$, при котором модуль коэффициента отражения принимает минимальное значение $|R| \approx 0,1$, т.е. от слоя шерсть – жидкость, экранированного решетками, отражается только 1% мощности возбуждающей звуковой волны. Таким образом, при радиусе стержней, образующих решетку, равном $R \approx 0,8 \text{ мм}$, оптимальное значение периода решетки $l = 5,7 \text{ мм}$.

Выводы. Оптимальными радиусом и периодом решетчатой сетки транспортера шерстомойной машины с плоскими гидродинамическими излучателями являются соответственно $R \approx 0,8 \text{ мм}$ и $l = 5,7 \text{ мм}$. При этих размерах от слоя шерсти, размещенного между решетчатыми транспортерами, отражается 1% мощности возбуждающей звуковой волны.

Список использованных источников

1. Новицкий Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах / Б. Г. Новицкий – М.: Химия, 1983. – 192 с.
2. Мороз А. Н. Теоретическое обоснование параметров устройств для первичной обработки шерсти в акустическом поле / А. Н. Мороз, И. А. Сасимова // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2010. – №9(79). – С.58 – 61.
3. Мороз О. М. Дослідження взаємодії звукової хвилі і стержнів решітчастого транспортера мийної машини вовни з плоскими гідродинамічними випромінювачами. / О. М. Мороз, О. Д. Черенков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип.10, Т. 7. – С. 275 – 283.
4. Мороз А. Н. Решение задачи взаимодействия звуковой волны со слоем шерсти в шерстомойной машине / А. Н. Мороз, А. Д. Черенков // Энергетики і автоматика. – 2010. – №2(4). – Режим доступа до видання: http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/eia/2010_2/index.htm.
5. Тихонов А. Н. Уравнения математической физики / А. Н. Тихонов, А. А. Сахарский – М.: Наука, 1972. – 735 с.

Анотація

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕШІТКИ СІТЧАСТОГО ТРАНСПОРТЕРА МАШИНИ ДЛЯ МІЙКИ ВОВНИ З ГІДРОДИНАМІЧНИМИ ВИПРОМІНЮВАЧАМИ

Мороз О. М., Черенков О. Д.

Проведені аналітичні дослідження по визначенню коефіцієнтів відбивання та проходження збуджуючої звукової хвилі через решітки транспортера і шар шерсті, що дозволяє визначити оптимальні геометричні параметри решітки мийної машини вовни з гідродинамічними випромінювачами з метою максимального поглинання енергії збуджуючої звукової хвилі у вовні.

Abstract

CALCULATION OF OPTIMUM PARAMETERS OF GRATE OF THE RETICULATED CONVEYER OF MACHINE FOR WASHING RAW WOOL WITH HYDRODYNAMIC EMITTERS

A. Moroz, A. Cherenkov

Analytical researches are conducted on determination of reflectivities and passing of excitant sound-wave through the grates of conveyer and layer of wool, that allows to define the optimum geometrical parameters of grates of шерстомойной machine with hydrodynamic emitters with the purpose of maximal absorption of energy of excitant sound-wave in wool.