

УДК 677.051, 677.021

**МОДЕЛЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СОРНУЮ ПРИМЕСЬ
В ПРОЦЕССЕ ВОЛОКНООЧИСТКИ***

**MODEL IMPACTS ON WEED ADMIXTURE
IN THE PROCESS OF CLEANING FIBER**

Д.А. ЛЕБЕДЕВ, А.А. ПЕТРОВ
D.A. LEBEDEV, A.A.PETROV

(Костромской государственной технологической университет)
(Kostroma State Technological University)
E-mail: tmm@kstu.edu.ru

В работе рассматриваются вопросы моделирования поведения сорных примесей при взаимодействии очищаемого волокнистого материала с рабочими органами очистителей, проведен анализ влияния основных параметров системы на эффективность процесса очистки.

* Работа выполнена под руководством проф., докт. техн. наук А.Р. Корабельникова.

The paper deals with the modeling of the behavior of trash at interaction of fibrous material that is to be cleansed with the working bodies of cleaners, analysis of influence of the basic system parameters on the efficiency of the cleaning process.

Ключевые слова: очистка волокна, хлопок, сорные примеси, волоконно-очиститель.

Keywords: fiber cleaning, cotton, impurities, fiber cleaner.

Изучение механики выделения сора из массы волокна в процессе очистки позволит более точно и обоснованно подходить к выбору конструктивных и режимных параметров очистительного оборудования. Ранее предпринимались попытки описания данного процесса: модель воздействия на сорную примесь при ударе летучки хлопка-сырца о колосник была представлена в работе [1], теоретические аспекты вопроса в приложении к очистке натурального короткоштатпельного волокна были рассмотрены в работах [2], [3] и др. Однако данные вопросы требуют более глубокого изучения.

В работе [4] на основе анализа механики взаимодействия сорных примесей с волокном нами были получены динамические и математические модели, описывающие движение сорной примеси в процессе очистки волокна. Дифференциальное уравнение движения сорной примеси, расположенной на поверхности пучка волокон, приводится к стандартной форме уравнения Матье с некоторыми постоянными a и ε [4], [5]:

$$\frac{d^2\varphi}{d\tau^2} + (a - 2\varepsilon \cos 2\tau)\varphi = 0, \quad (1)$$

если положить:

$$\omega t = 2\tau; \quad a = \frac{4g}{\omega^2 \ell}; \quad \varepsilon = \frac{2h}{\ell}, \quad (2)$$

где ω – частота собственных колебаний основания пучка волокон; g – ускорение свободного падения; ℓ – характерный размер сорной примеси (расстояние от точки подвеса до центра тяжести примеси); h – амплитуда колебаний точки подвеса (максимальная деформация пучка волокон).

Решениями уравнения (1) служат специальные функции, называемые функциями Матье. Эти решения носят колебательный характер, и их свойства зависят от конкретных значений параметров a и ε . Различным комбинациям a и ε могут соответствовать колебания, ограниченные по амплитуде, и колебания с возрастающими амплитудами.

Несмотря на то, что уравнение (1) обладает аналитическим решением, ценность этого факта не представляется существенной, поскольку для нашего случая подробности колебаний малоинтересны, и основную важность представляет именно тенденция колебательного процесса: если амплитуды остаются ограниченными, то система устойчива; в противном случае система неустойчива и имеет место резонанс [5].

Полная диаграмма зон устойчивых и неустойчивых решений уравнения Матье в переменных a и ε называется диаграммой Айнса-Стретта, которая полностью освобождает от выполнения каких-либо операций по решению уравнения Матье. Если дифференциальное уравнение задачи приведено к форме (1), то по данным a и ε с помощью диаграммы устойчивости Айнса-Стретта можно сразу сделать заключения об устойчивости (сор не выделяется) и неустойчивости (сор отрывается) системы.

Из диаграммы Айнса-Стретта можно видеть, что в области точек диаграммы $a=1, 4, 9, \dots$ следует ожидать появления неустойчивости системы.

Согласно уравнению (3) величина a обратно пропорциональна квадрату частоты колебаний пучка волокон ω и размеру сорных примесей l . При этом параметр a

не зависит от амплитуды колебаний точки подвеса h .

В табл. 1 приведены данные по распределению сорных примесей по фракциям

для хлопка с исходным содержанием пороков и сорных примесей 10%, полученного из хлопка-сырца ручного сбора разновидности Аш-25 I сорта.

Таблица 1

Размер сорной примеси, мм	0...1	1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8
Процентное содержание, %	32	25	15	8	3	6	2	5

Так как размеры сорных примесей l в пучке волокон колеблются в широких пределах, то величина a , соответствующая неустойчивости системы, может быть получена путем изменения частоты колебаний пучка волокон ω . Причем, как отмечалось выше, для удаления из волокна примеси определенного размера требуется определенная частота колебаний. Поэтому для удаления всех сорных примесей из пучка волокон на них необходимо воздействовать определенным спектром частот колебаний. Для определения спектра частот колебаний приведем уравнение (2) к следующему виду:

$$\omega = \sqrt{\frac{4g}{al}}. \quad (3)$$

Принимая значения a равными 1, 4, 9, ..., где можно ожидать неустойчивости системы, были определены диапазоны частот колебаний в зависимости от размера l сорных примесей. Результаты расчетов приведены на рис. 1 (зависимость частоты колебания пучка волокон от размера сорных примесей при $a=1, 4, 9$).

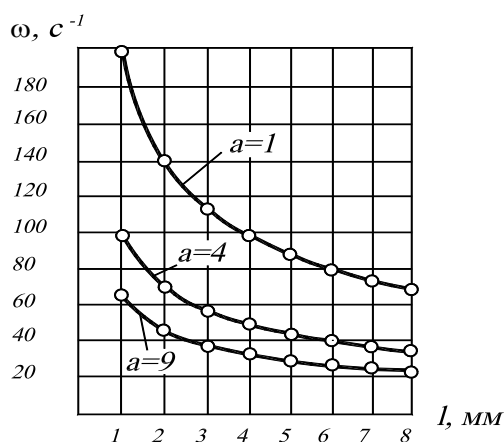


Рис. 1

Из представленных результатов видно, что удаление более мелких сорных примесей требует больших частот колебаний пучка волокон и наоборот. Причем разница между наименьшим и наибольшим значением частот колебаний изменяется в пределах двух-трех раз. Изменение частоты колебаний пучка волокон в заданных пределах можно достичь путем установки рабочих органов очистителя (например, колосников) с переменным шагом.

Кроме того, неустойчивость системы можно получить за счет достаточно больших значений ε . Как видно из уравнения (2), ε имеет большее значение при больших амплитудах колебаний точки подвеса (деформации пучка волокон). Высокие значения амплитуды колебаний можно получить за счет большого начального удара по пучку волокон, то есть чем значительнее сила удара, тем интенсивнее выделяются сорные примеси. В свою очередь, сильный удар можно получить за счет достаточно высоких скоростей и соответствующей формы рабочих органов очистителя.

Для экспериментальной проверки полученного результата было проведено моделирование колебаний сорной примеси математическим маятником при вертикальной осцилляции, то есть при колебании верхней точки подвеса груза в вертикальном направлении. Для исследования использовался экспериментальный стенд, представленный на рис. 2: точки подвесов грузов расположены на одной горизонтальной планке (1), которая в свою очередь жестко закреплена на платформе вибростенда ВЭС (2); длины подвесов l были приняты равными 5, 10, 15, 20 и 25 мм; массы грузов принимались одинаковыми; амплитуда колебаний точек подвеса в вертикальном направлении $h=10$ мм.

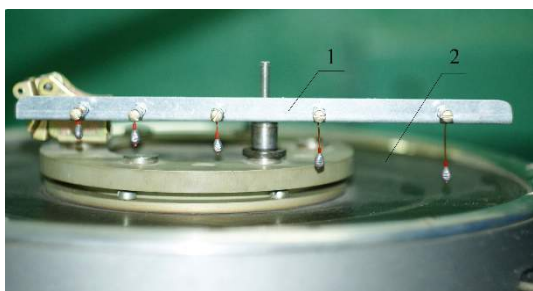


Рис. 2

Как было показано ранее, в зависимости от значений параметров a и ε рассматриваемая колебательная система может либо совершать затухающие колебания, либо вследствие резонанса достигать больших углов отклонения. Регулируя частоту колебаний платформы в пределах от 0 до 30 с^{-1} , для каждого из маятников определялись значения частот Ω , при которых наступало неустойчивое состояние системы (табл. 2 – результаты экспериментального исследования).

Т а б л и ц а 2

Параметры системы	Длина подвеса ℓ , м				
	0,005	0,010	0,015	0,020	0,025
Частота колебаний точки подвеса при неустойчивом состоянии системы Ω , с^{-1}	28,5	20,5	17	15	13
Параметр $a = \frac{4g}{\omega^2 \ell}$	9,66	9,34	9,05	8,72	9,28
Параметр $\varepsilon = \frac{2h}{\ell}$	4	2	1,33	1	0,8

На рис. 3 приведена диаграмма Айнса-Стретта, по которой возможно определить, будет ли при заданных параметрах маятник устойчив. Спроецируем экспериментальные данные на диаграмму Айнса-Стретта. Как видно из полученных результатов, при заданных условиях система будет находиться в неустойчивом состоянии и войдет в резонанс: на диаграмме это состояние отмечено точками, лежащими в заштрихованной (неустойчивой) области. Таким образом, теоретические и экспериментальные результаты находят взаимное подтверждение.

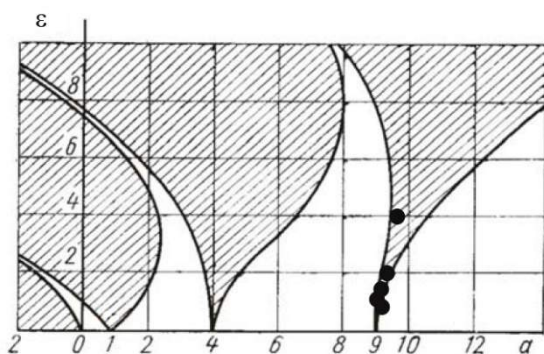


Рис. 3

В Ы В О Д Ы

Таким образом, в результате анализа динамики взаимодействия сорных примесей с волокном разработан новый подход к моделированию процесса очистки волокнистого материала, получены динамические и математические модели взаимодействия сорных примесей с волокном, позволяющие анализировать влияние основных параметров системы на эффективность процесса очистки. Проведенные исследования, расчеты и экспериментальное моделирование показали, что при определенной амплитуде и расчетной частоте внешних воздействий на очищаемый волокнистый материал, можно получить неограниченное возрастание колебаний сорной частицы, необходимое для ее удаления.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бурнашев Р.З. Теоретические основы технологии очистки хлопка-сырца: Дис. ... докт. техн. Наук. – Кострома, 1984.
2. Корабельников А.Р. Развитие теории процесса взаимодействия пучка волокон с рабочим органом при очистке // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 2.
3. Лебедев Д.А., Корабельников А.Р., Ширяев К.Е., Корабельников Р.В. Нелинейная модель воздейст-

вия на сорную частицу при очистке волокна // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, №5.

4. *Корабельников А.Р., Лебедев Д.А., ШUTOва А.Г.* Выделение сорных примесей с поверхности слоя волокнистого материала // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №4.

5. *Пановко Я.Г.* Основы прикладной теории колебаний и удара. – Л.: Машиностроение (Ленинградское отделение), 1976.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин, деталей машин и проектирования технологических машин. Поступила 07.06.13.
