

УСЛОВИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ СОРНЫХ ЧАСТИЦ В ВОЛОКНИСТОЙ МАССЕ*

Р.В. КОРАБЕЛЬНИКОВ, А.Р. КОРАБЕЛЬНИКОВ, Д.А. ЛЕБЕДЕВ

(Костромской государственной технологической университет)

E-mail: info@kstu.edu.ru

В статье рассмотрены условия перемещения сорных частиц в волокнистой массе. Проведен анализ кинестатики механизма миграции сора по отдельным фазам смещения волокнистого слоя.

Conditions of the movement of weedy particles in a pulp are considered herein. The analysis of kinestatics of the rubbish migration mechanism on separate stages of a fibrous layer displacement are considered in the article.

Ключевые слова: сорные частицы, гармонический закон, слой волокна, рабочие органы, физико-механические свойства волокна и примесей.

Ранее нами были даны теоретические предпосылки возможности перемещения (миграции) сорных частиц внутри волокнистого материала [1]. Схожие вопросы изучались также в работе [2].

Рассмотрим расчетную схему для анализа возможных перемещений сорной частицы внутри волокнистой массы, представленную на рис. 1: 1 – волокнистая масса; 2 – сорная частица.

Слой волокнистой массы, расположенный выше сорной частицы, приводится в движение, например, в результате воздействия рабочего органа.

Будем полагать, что перемещение верхнего слоя в горизонтальном направлении (в направлении оси ox) будет происходить по гармоническому (синусоидальному) закону, имеющему следующий вид:

$$x = A_x \sin \omega t, \quad (1)$$

где A_x – максимальная амплитуда смещения слоя волокна.

При этом частица сора массой m будет испытывать со стороны верхнего и нижнего

слоев поверхностное давление q на площади F . Кроме того, со стороны волокнистой массы вдоль оси ox и в противоположном направлении на частицу будут действовать силы Q_1 и Q_2 .

При смещении верхнего слоя между поверхностью "а" и "б" возникают силы трения. Полагаем, что обе поверхности частицы идентичны, но коэффициент трения в противоположных направлениях различен: при движении соринки в сторону оси ox – μ_2 , в обратном направлении – μ_1 . При этом считаем, что $\mu_1 > \mu_2$, то есть имеется анизотропия трения, вызванная, как правило, природными свойствами сорной частицы.

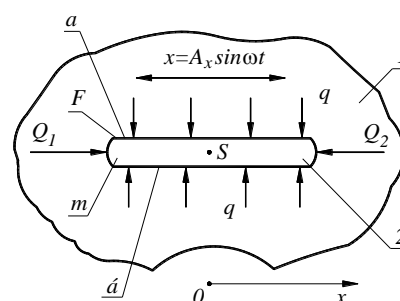


Рис. 1

* Работа выполнена при поддержке гранта Федерального агентства по образованию РФ в рамках реализации целевой программы "Развитие научного потенциала высшей школы" (2009 – 2010 гг.) по разделу 2.1.2.

Согласно принципу Даламбера полученная система сил (силы внутренние и внешние) с присоединенными к ней силами инерции должна находиться в равновесии.

Составляя уравнение равновесия в проекции на ось ox , найдем:

$$\bar{Q}_1 + \bar{Q}_2 + \bar{T}_1 + \bar{T}_2 + m\bar{x} = 0, \quad (2)$$

где T_1 и T_2 – максимальные силы трения, действующие на поверхность соприкосновения сорной частицы с верхним и нижним слоями соответственно; m – масса сорной частицы; \ddot{x} – ускорение сорной частицы.

Очевидно, что в каждом конкретном случае силы трения T_1 и T_2 могут меняться как по направлению, так и по величине и могут быть определены по следующей формуле:

$$T = \mu_{1,2} \int_F q dF = \mu_{1,2} N, \quad (3)$$

где N – суммарное давление, приходящееся на поверхность сорной примеси.

В зависимости от соотношения сил, действующих на систему, а также от направления движения верхнего слоя, условия перемещения (миграции) сора значительно отличаются. Это заставляет рассматривать кинестатику процесса не в общем виде, а в отдельных временных интервалах.

Проанализируем движение системы по отдельным фазам смещения верхнего слоя. В табл. 1 подробно отражено изменение перемещения, скорости и ускорения верхнего слоя по отдельным интервалам времени.

Т а б л и ц а 1

Кинематические характеристики движения	Фазы движения верхнего слоя волокнистой массы			
	$0 < t < \frac{\pi}{2\omega}$	$\frac{\pi}{2\omega} < t < \frac{\pi}{\omega}$	$\frac{\pi}{\omega} < t < \frac{3\pi}{2\omega}$	$\frac{3\pi}{2\omega} < t < \frac{2\pi}{\omega}$
Перемещение слоя $x = A_x \sin \omega t$	$0 \div A_x$	$A_x \div 0$	$0 \div -A_x$	$-A_x \div 0$
Скорость слоя $\dot{x} = A_x \omega \cos \omega t$	$A_x \omega \div 0$	$0 \div -A_x \omega$	$-A_x \omega \div 0$	$0 \div A_x \omega$
Ускорение слоя $\ddot{x} = -A_x \omega^2 \sin \omega t$	$0 \div -A_x \omega^2$	$-A_x \omega^2 \div 0$	$0 \div A_x \omega^2$	$A_x \omega^2 \div 0$

I) Первая фаза движения верхнего слоя ($0 < t < \frac{\pi}{2\omega}$). В этом интервале верхний слой волокна сдвигается вправо.

Рассмотрим различные варианты соотношения сил, действующих на систему.

$$I a) \quad (Q_1 + T_1) > (Q_2 + T_2).$$

Уравнение равновесия (2) при таком условии (рис. 2) запишется как

$$Q_1 - Q_2 + T_1 - T_2 - m\ddot{x}_s = 0 \quad (4)$$

или

$$m\ddot{x}_s = (Q_1 - Q_2) + (\mu_1 - \mu_2)N. \quad (5)$$

Нахождение как первого, так и второго интегралов в данном случае не представ-

ляет труда. При начальных условиях (при $t=0$: $x_s = 0$; $\dot{x}_s = 0$) решениями будут: скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_1 - Q_2) + (\mu_1 - \mu_2)N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_1 - Q_2) + (\mu_1 - \mu_2)N}{2m} t^2.$$

В этом случае сорная частица движется вправо со скоростью, меньшей или равной скорости верхнего слоя: $\dot{x}_s \leq A_x \omega \cos \omega t$.

Очевидно, чем больше анизотропия трения сорной частицы, то есть чем больше разница коэффициентов трения μ_1 и

μ_2 , тем большее перемещение осуществит частица.

Частный случай здесь будет иметь место при дополнительном условии, при котором $Q_1 = Q_2$: частица сора будет смещаться также вправо со скоростью верхнего слоя: $\dot{x}_s = \dot{x} = A_x \omega \cos \omega t$ (будет проталкиваться влево верхним слоем), поскольку $\mu_1 > \mu_2$.

При этом перемещение примеси будет равно максимальной амплитуде движения верхнего слоя волокнистой массы.

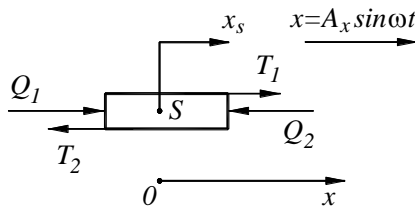


Рис. 2

I б) $(Q_1 - Q_2) > 2\mu_2 N$.

При выполнении данного условия сорная примесь смещается вправо, преодолевая силы трения T_1 и T_2 о поверхности обоих слоев, причем скорость ее движения будет больше скорости верхнего слоя $\dot{x}_s > A_x \omega \cos \omega t$. То есть частица сора будет сдвигаться под действием внешних сил вправо не только относительно нижнего слоя, но также и относительно верхнего (рис. 3).

Уравнение равновесия сил будет:

$$m\ddot{x}_s = (Q_1 - Q_2) - 2\mu_2 N. \quad (6)$$

Из последнего уравнения можно найти (при начальных условиях):

скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_1 - Q_2) - 2\mu_2 N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_1 - Q_2) - 2\mu_2 N}{2m} t^2.$$

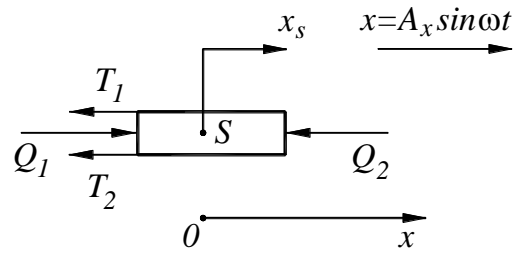


Рис. 3

I в) $(Q_2 - Q_1) > 2\mu_1 N$,

или

$$Q_2 > 2\mu_1 N + Q_1.$$

В случае выполнения этого условия сорная частица будет смещаться влево, навстречу движению верхнего слоя. Это возможно при принудительном сдвиге сора под действием внешних сил, когда сила Q_2 преодолевает встречное усилие Q_1 и силы трения T_1 и T_2 (рис. 4).

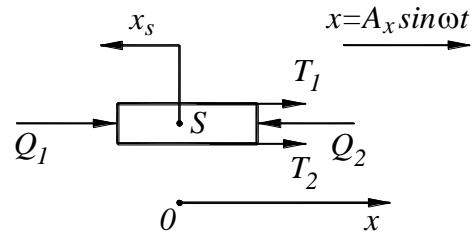


Рис. 4

Уравнение равновесия сил для данного случая примет следующий вид:

$$m\ddot{x}_s = (Q_2 - Q_1) + 2\mu_1 N, \quad (7)$$

откуда:

скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + 2\mu_1 N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + 2\mu_1 N}{2m} t^2.$$

$$I \Gamma) \quad (Q_1 + T_1) = (Q_2 + T_2).$$

В этом промежуточном варианте соотношения сил сорная частица останется неподвижной (рис. 5).

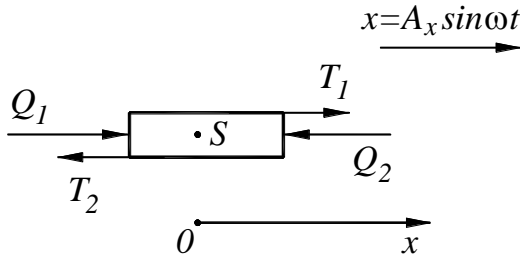


Рис. 5

II) Вторая фаза движения верхнего слоя ($\frac{\pi}{2\omega} < t < \frac{\pi}{\omega}$). В этом интервале времени верхний слой волокна начинает смещаться влево.

Рассмотрим также основные варианты соотношения сил, действующих на систему, подобно тому, как это было сделано выше.

$$II a) \quad (Q_2 + T_1) > (Q_1 + T_2).$$

При таком соотношении сил частица сора будет двигаться влево либо со скоростью, меньшей скорости верхнего слоя ($\dot{x}_s < A_x \omega \cos \omega t$), либо вместе с верхним слоем со скоростью $\dot{x}_s = \dot{x} = A_x \omega \cos \omega t$ (рис. 6).

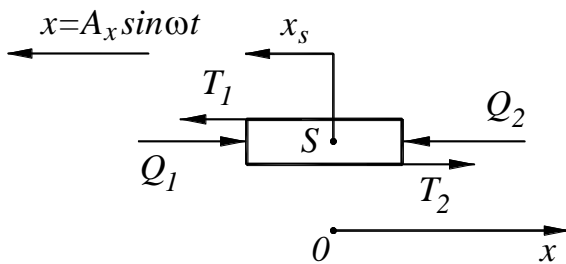


Рис. 6

Уравнение равновесия (2) при таком условии (рис. 2) будет иметь вид:

$$Q_1 - Q_2 - T_1 + T_2 + m\ddot{x}_s = 0, \quad (8)$$

или

$$m\ddot{x}_s = (Q_2 - Q_1) + (\mu_2 - \mu_1)N. \quad (9)$$

Дважды проинтегрировав (9), найдем (за начальные условия примем – при $t=0$ $x_s = 0$; $\dot{x}_s = 0$):

скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + (\mu_2 - \mu_1)N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_2 - Q_1) + (\mu_2 - \mu_1)N}{2m} t^2.$$

Здесь, как и в случае I (а) – величина перемещения сора будет сильно зависеть от разности коэффициентов трения при перемещении частицы в противоположных направлениях.

II б) – при выполнении условия $Q_1 = Q_2$ сила трения T_1 частицы о верхний слой будет меньше силы трения о нижний слой T_2 , поскольку $\mu_1 > \mu_2$. Поэтому верхний слой волокнистой массы будет проскальзывать по поверхности сорной частицы, и последняя останется неподвижной (рис. 7).

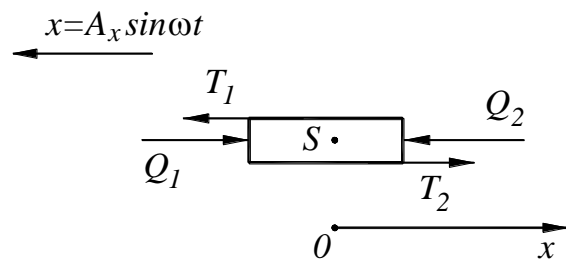


Рис. 7

$$II в) \quad (Q_2 - Q_1) > 2\mu_1 N.$$

В этом случае под действием внешней силы Q_2 частица сора движется влево со скоростью, большей скорости верхнего слоя ($\dot{x}_s > A_x \omega \cos \omega t$), преодолевая при этом сопротивление сил трения о верхний и нижний слои (рис. 8) и сопротивление силы Q_1 .

Уравнение равновесия (2) примет вид

$$m\ddot{x}_s = (Q_2 - Q_1) - 2\mu_1 N. \quad (10)$$

Из последнего уравнения:
 скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_2 - Q_1) - 2\mu_1 N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_2 - Q_1) - 2\mu_1 N}{2m} t^2.$$

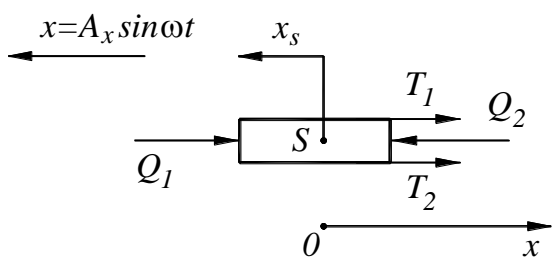


Рис. 8

П г) $(Q_1 - Q_2) > 2\mu_2 N$.

Под действием силы Q_1 частица сора выталкивается вправо, преодолевая при этом сопротивление сил трения о верхний и нижний слои (рис. 9) и сопротивление силы Q_2 .

Уравнение равновесия сил для такого случая запишется в виде:

$$m\ddot{x}_s = Q_1 - Q_2 - 2\mu_2 N. \quad (11)$$

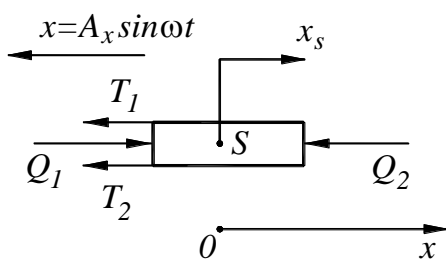


Рис. 9

Из (11) при известных начальных условиях можно найти:

скорость сорной частицы:

$$\dot{x}_s = \frac{(Q_1 - Q_2) - 2\mu_2 N}{m} t;$$

перемещение сорной частицы:

$$x_s = \frac{(Q_1 - Q_2) - 2\mu_2 N}{2m} t^2.$$

Таким образом, нами проведен анализ кинестатики механизма миграции сорной частицы в волокнистой массе для двух первых фаз движения верхнего слоя. Очевидно, что картина транспортирования сора на третьем $(\frac{\pi}{\omega} < t < \frac{3\pi}{2\omega})$ и четвертом $(\frac{3\pi}{2\omega} < t < \frac{2\pi}{\omega})$ (табл. 1) интервалах рассмотрения будет абсолютно идентична, соответственно, второй и первой фазам движения верхнего слоя.

Нами установлено, что при сдвигании слоев волокна, вызванных воздействием тех или иных рабочих органов, возникают условия для миграции сорных примесей.

Величина и направление перемещения частиц сора при каждом конкретном возмущении волокнистой массы будет зависеть от физико-механических свойств волокна и примесей, их формы и расположения и много другого. Общее же перемещение частицы сора в направлении открытой поверхности будет складываться из ряда малых, являющихся следствием ряда последовательных ударов рабочих органов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корабельников Р.В., Корабельников А.Р., Лебедев Д.А. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2009, № 2.
2. Бурнашев Р.З. Теоретические основы технологии очистки хлопка-сырца: Дис... докт. техн. наук. – Ташкент, 1983.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 14.01.10.