

УДК 677.021

DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_1\_178

**ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ДВИЖЕНИЯ  
ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В ФОРМИРУЮЩЕМ БУНКЕРЕ**

**RESEARCH OF THE STABLE FIBER MATERIAL MOTION MODE  
IN THE FORMING HOPPER**

*С.А. КЮРЕГЯН, А.Д. АСАТРЯН*

*S.A. KYUREGHYAN, A.J. ASATRYAN*

(Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал)

(National Polytechnic University of Armenia, Gyumri branch)

E-mail: asatryan.armine01@gmail.com

*В работе исследован установившийся режим движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности формирующего бункера двухкамерного питателя. На основе анализа режима движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности в формирующем бункере разработаны условия существования и устойчивости движения волокнистого материала по вибрирующим транспортерам. Доказано, что все возможные установившиеся режимы движения волокнистого материала, при отсутствии подбрасывания, устойчивы по всей области их существования за исключением границ.*

*In the research work, the steady-state mode of fibrous material movement relative to the vibrating surface of the forming hopper of a two-chamber feeder is investigated. From the analysis of the steady-state mode of the fibrous material movement relative to the vibrating surface in the forming hopper, conditions for the existence and stability of the movement of the fibrous material along the vibrating conveyors are developed. It is proved that all possible steady-state modes of fibrous material movement, in the absence of a toss, are stable throughout their area of existence, with the exception of boundaries.*

**Ключевые слова:** установившийся режим, относительный покой, скольжение вперед, фазовый угол, соударение, угол трения.

**Keywords:** steady state, relative peace, forward sliding, phase angle, collision, angle of the friction.

## Введение

Применения аэродинамических устройств в текстильном оборудовании требует разработки теории движения волокнистых материалов. Уже в настоящее время есть немало практических задач, рациональное решение которых невозможно без теории [1]. Общая теория движения волокнистых материалов подразумевает вывод уравнения движения комплексов, состоящих из множества отдельных волокон, называемых в дальнейшем также клочками, с учетом действия на них всех сил, а также взаимодействия их в волокнистовоздушном потоке при постоянной и переменной скорости движения [2]. В природе практически нет идеально упругих материалов. Поведение всех материалов в большей или меньшей степени зависит от времени, от скорости нагружения.

Закономерности движения волокнистого материала по вибрирующей поверхности представляют самостоятельный интерес для виброуплотнения (и вибросепарации) отдельных клочков малых размеров [3]. Эти закономерности интересны также и для теории многих сложных процессов, например, виброуплотнения и сепарации упругих тел конечных размеров.

### Постановка задачи

Целью настоящего исследования является построение математической модели установившегося режима движения волокнистого материала в двухкамерном питателе, который оснащен вибрирующими транспортерами.

### Объекты и методы исследования

На основе аналитических и экспериментальных исследований получены графики для определения фазового угла остановки волокнистого материала по фазовому углу начала скольжения и графики для определения безразмерного перемещения волокнистого материала по этапу скольжения.

### Результаты и обсуждения

В общем случае волокнистый материал может находиться относительно вибрирующей поверхности в одном из следующих трех состояний относительно покоя ( $dx \equiv 0$ ,  $dy \equiv 0$ ), скольжения вперед ( $dx \equiv 0$ ,  $dx > 0$ ) и отрыва ( $y > 0$ ), называемого также поле-

том. Обозначим указанные состояния соответственно символами 0, + и  $\cap$ . Наибольший практический интерес представляют режимы движения волокнистого материала, характеризующиеся циклическим чередованием указанных состояний (этапов движения), причем время одного цикла, называемое периодом переключений режима  $T_{\Pi} = 2pT$ , равно, или целое число раз превышает период колебаний поверхности  $T = 2\pi/\omega$ . Режимы, как правило, устанавливаются по истечении некоторого времени после падения волокнистого материала на поверхность или после возникновения колебаний поверхности.

Каждый установившийся режим охарактеризован определенным набором циклически повторяющихся символов 0, + и  $\cap$ , кратностью  $P$  и моментами перехода  $t_j$  от одного этапа движения к другому. При этом достаточно указать лишь чередование символов значения моментов  $t_j$  в пределах одного периода переключений. Запись вида

$$0,25(\cap)8,3(\cap)11,0(+ )12,7(+ )4\pi + 0,25 \quad (1)$$

назовем формулой установившегося режима. Эта запись указывает, что, начиная с момента, соответствующего значению фазового угла, от  $\omega t_1 = 0,25$  до  $\omega t_2 = 8,3$ , волокнистый клочок находится в полете над поверхностью, при  $\omega t_2 = 8,3$  происходит мгновенное соударение с поверхностью, снова полет до момента  $\omega t_3 = 11,0$ , скольжение вперед поверхности до момента  $\omega t_4 = 12,5$ , затем имеет место относительный покой до  $\omega t_5 = 12,7$  и, наконец, скольжение вперед до  $\omega t_6 = 4\pi + 0,25$ . После этого цикл повторяется. Период переключений данного режима  $T_{\Pi} = 34\pi/\omega = 2T$ .

С математической точки зрения рассматриваемая задача сводится к изучению решений нелинейных дифференциальных уравнений, которые в каждом из определенных частей фазового пространства являются линейными, однако имеют в каждой части различную амплитудную запись и даже различный порядок [1]:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = m A \omega^2 \cos \beta \sin \omega t + mg - F, \quad (2)$$

$$m \frac{d^2y}{dt} = m A\omega^2 \sin\beta \sin\omega t + N, \quad (3)$$

где  $m$  – масса волокнистого материала;  $A$  и  $\omega$  – соответственно амплитуда и частота колебания относительно транспортера;  $\beta$  – угол вибрации;  $g$  – ускорение свободного падения.

При  $F=N=0$ :

$$\frac{d^2x}{dt} = m A\omega^2 \cos\beta \sin\omega t + g. \quad (4)$$

Аналитическое решение подобной задачи может быть выполнено точечным методом – так называемым обратным методом, а также методом поэтапного интегрирования, припасовывания точечных отображений. Помимо аналитических методов используют графические построения.

Движение волокнистого материала без отрыва от вибрирующей поверхности мо-

жет иметь место лишь при выполнении условия:

$$\omega = \frac{A\omega^2}{g} \operatorname{tg}\beta \leq 1. \quad (5)$$

Параметр  $\omega$ , равный отношению амплитуды поперечной составляющей переносной силы инерции  $m A\omega^2 \sin\beta$  к поперечной составляющей силы тяжести  $mg \cos\beta$ , назовем параметром перегрузки при условии, что параметр перегрузки  $\omega \leq 1$  [1].

Условия существования и устойчивости всех возможных установившихся режимов движения волокнистого материала при отсутствии подбрасывания представлены в табл. 1 (табл. 1 – установившиеся режимы движения волокнистого материала при отсутствии подбрасывания [ $z_0 \geq 1$  ( $\omega \leq 1$ )]).

Таблица 1

Характер и формула установившегося режима движения	Необходимые и достаточные условия существования и устойчивости установившихся режимов	Период переключений	Фазовые углы, соответствующие моментам перехода	$\nu$ и $\pi$
Регулярный режим	$z'_{1+} < 1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi + \delta_+) < 0$		$\varphi_{0+} = \delta_{1+}$	
1. $\varphi_{0+}(+) \varphi_{+0}(0)$	$z'_{1-} < 1$			
$\varphi_{0+} + 2\pi$				$\nu = \frac{A\omega}{\pi \cos \beta} \cos(\beta - \rho) F(\delta_+, \delta_{1+})$
(+0)	$z'_{1+} < 1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi - \gamma_-) < 0$		$\varphi_{0+} = f(\delta_+, \delta_{1+})$	
	$z'_{1+} > -1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi + \delta_+) < 0$	$\frac{2\pi}{\omega}$		
2. $\varphi_{0-}(-) \varphi_{-0}(0)$	$z'_{1+} \geq 1, \Psi(\delta_+, \delta_{1+}, \pi - \gamma_{1-}) \geq 0$		$\varphi_{0-} = \delta_{1-} = \pi + \gamma_{1-}$	
$\varphi_{0+} + 2\pi$	$z'_{1-} > -1$			$\nu = \frac{A\omega}{\pi \cos \beta} \cos(\beta + \rho) F(\gamma_-, \gamma_{1-})$
(-0)	$z'_{1+} < 1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi - \delta_{1+}) \geq 0$		$\varphi_{-0} = \pi + f(\gamma_-, \gamma_{1-})$	
	$z'_{1-} > -1, \Psi(\gamma_-, \gamma_{1-}, \pi + \gamma_-) < 0$			

Эти условия выражены четырьмя без-

размерными параметрами:

$$z'_{1\pm} = \frac{g}{A\omega^2} = \frac{\sin(\gamma \pm \rho_1)}{|\cos(\beta \pm \rho_1)|}, \quad z'_{\pm} = \frac{g}{A\omega^2} = \frac{\sin(\alpha \pm \rho)}{|\cos(\beta \mp \rho)|} \quad (6)$$

$\rho_1 = \arctg f_1$  и  $\rho = \arctg f$  – соответственно углы трения покоя и скольжения, наряду с которыми используют такие параметры, как  $\delta_{1+}$ ,  $\delta_+$ ,  $\gamma_{1-}$  и  $\gamma_-$ , связанные с  $z'_{1\pm}$  и  $z'_{\pm}$  соотношениями:

$$\delta_{1+} = \arcsin z'_{1\pm}, \quad \delta_+ = \arcsin z'_{\pm}, \quad (7)$$

$$\gamma_{1-} = \arcsin z'_{1-}, \quad \gamma_- = \arcsin z'_-.$$

Кроме того, используются функции этих параметров:

$$\begin{cases} \psi(a, b, c) = \cos b + \cos c - (\pi + c - b) \sin a, \\ v_+ = \pi - v_- = \pi \frac{\sin \gamma_-}{\sin \delta_+ + \sin \delta_-}, \\ \lambda = \frac{v_+}{\sin v_+} \sin \delta_+ = \frac{v_-}{\sin v_-} \sin \gamma. \end{cases} \quad (8)$$

А также функция  $f(a, b)$ , предусматривающая решение трансцендентного уравнения:

$$\cos f(a, b) = \cos b - [f(a, b) - b] \sin a. \quad (9)$$

Определение средней скорости и ускорения волокнистого материала в установившихся режимах движения не вызывают существенных затруднений, если найдены моменты перехода от одного этапа к другому, после этого дело сводится к легко выполняемому интегрированию (2). В результате получится перемещение скорости за тот же период ( $\Delta \frac{dx}{dt}$ ) для режимов ускоренных, а затем средняя скорость и ускорение:

$$V = \frac{S}{T_n} = S\omega / (2\pi\rho), \quad a = (\Delta dx_T) / T_n. \quad (10)$$

В общем случае, когда коэффициенты трения покоя и скольжения  $\lambda$  и  $f$  различны, процесс вычисления средней скорости в регулярных режимах можно свести к следующему:

1. Вычисляем  $z'_{1\pm}$ ,  $z'_{\pm}$ ,  $\delta_{1+}$ ,  $\delta_+$ ,  $\gamma_{1-}$  и  $\gamma_-$ .

С помощью соотношений табл. 1, при учете (8) и графика рис. 1 (график определения фазового угла остановки волокнистого материала по фазовому углу скольжения), вычисляют вид установившегося режима движения волокнистого материала.

2. По формулам четвертой графы табл. 1 и с помощью графиков рис. 1 находят фазо-

вые углы, соответствующие моментам перехода от одного этапа движения к другому.

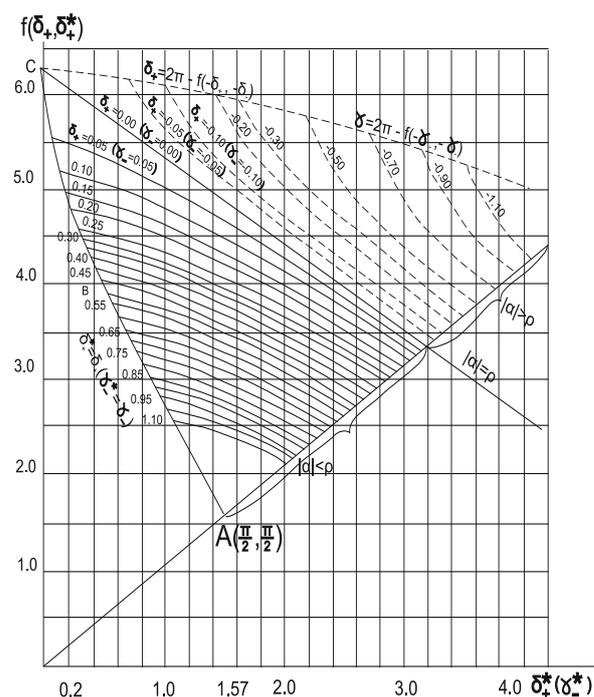


Рис. 1

3. По формулам последней графы табл. 1 и с помощью графика рис. 2 (графики определения безразмерного перемещения волокнистого материала за этап скольжения) подсчитывают среднюю скорость  $V$  или среднее ускорение  $a$ .

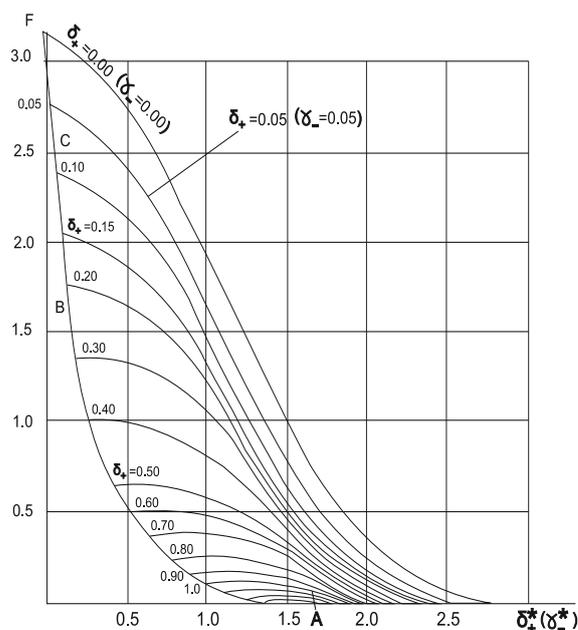


Рис. 2

## ВЫВОДЫ

1. Получено уравнение, которое характеризует установившийся режим движения волокнистого материала относительно вибрирующей поверхности формирующего бункера двухкамерного питателя.

2. Получены соотношения и графики, которые дают возможность вычислять вид установившегося режима и подсчитывать среднюю скорость  $V$  или среднее ускорение  $a$  движения волокнистого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Акобджанян А.С.* Пневматические распределители волокна в прядильном производстве. – М.: Легпромбытиздат, 1987.

2. *Кюрегян С.А., Асатрян А.Д.* Теоретические исследования параметров работы формирующего бункера с вибрирующими транспортерами // Вестник НПУА. Механика, машиноведение, машиностроение. Ереван, Изд-во Чартарагет. – 2018, №1. С.76...82.

3. *Кюрегян С.А., Асатрян А.Д.* Математический метод определения коэффициента плотности волокнистого настила в формирующем бункере // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. – 2018. Т. 42, №4. С. 20...22.

## REFERENCES

1. Akobjanyan A.S. Pneumatic fiber distributors in the spinning industry. – M.: Legprombytizdat, 1987.

2. Kyuregyan S.A., Asatryan A.D. Theoretical studies of the operating parameters of a forming hopper with vibrating conveyors // Vestnik NPUA. Mechanics, mechanical engineering, mechanical engineering. Yerevan, Chartaraget Publishing House. – 2018, №1. P.76...82.

3. Kyuregyan S.A., Asatryan A.D. Mathematical method for determining the density coefficient of fibrous flooring in a forming bin // Izv. universities. Light industry technology. – 2018. V. 42, №4. P.20...22.

Рекомендована кафедрой дизайна и технологии изделий текстильной и легкой промышленности. Поступила 08.10.21.