

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА
ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ НАСТИЛА
НА ВЫХОДЕ ИЗ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО ДОЗАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ**

**MATHEMATICAL MODEL FOR CALCULATION
OF LINEAR DENSITY OF THE WEB
AT THE EXIT OF THE MODIFIED DISPENSER-BLENDER**

А.Г. ХОСРОВЯН, Т.Я. КРАСИК, Г.А. ХОСРОВЯН
A.G. KHOSROVYAN, T.YA. KRASIK, G.A. KHOSROVYAN

(Ивановский государственный политехнический университет. Текстильный институт)
(Ivanovo State Polytechnical University. Textile Institute)
E-mail: khosrovyan_haik@mail.ru

На основе законов механики построена математическая модель движения волокнистой массы в модернизированном дозаторе-смесителе с шахтой с переменной площадью поперечного сечения. Выведена зависимость для расчета линейной плотности настила на выходе из модернизированного дозатора-смесителя.

On the basis of the laws of mechanics the mathematical model for the motion of the fiber mass in a modified batcher-mixer with variable cross-sectional area mine was constructed. Dependence for the calculation of the linear density of the web at the exit of the modified dispenser-blender was derived.

Ключевые слова: настил, волокнистая масса, дозатор-смеситель, линейная плотность.

Keywords: web, fiber mass, dispenser-blender, linear density.

При внедрении в производство технологической цепочки для получения многослойных волокнистых настилов [1] была проведена модернизация дозатора-смесителя. Целью модернизации являлось снижение неровноты настила на выходе из вертикальных шахт смесовых камер. Модернизация заключалась в изменении геометрических характеристик вертикальных шахт смесовых камер дозатора-смесителя, а именно: изменялась площадь поперечного сечения шахты по высоте на основе изменения угла наклона стенки крайних шахт смесовых камер дозатора-смесителя.

Нами проведено математическое моделирование процесса движения волокнистой смеси в крайних шахтах смесовых камер с переменной площадью поперечного сечения шахты.

В качестве теоретической базы для математического моделирования были взяты положения, высказанные в [2], где рассматривалась общая методика решения задачи по расчету линейной плотности настила на выпуске из бункерного питателя с шахтой с постоянным сечением.

Предлагаемая работа является развитием теории выравнивающей способности бункерного питателя с учетом его геометрических параметров по аналогии с [3].

Результаты производственных исследований показали увеличение плотности волокнистого материала в крайних шахтах смесовых камер дозатора-смесителя на нижнем уровне. Увеличение плотности волокнистого материала на нижнем уровне свидетельствует о снижении неровноты

настилов на выходе из крайних вертикальных шахт смесовых камер дозатора-смесителя.

Линейная плотность волокнистого материала, выходящего из шахт смесовых камер, влияет на качество многослойного волокнистого настила.

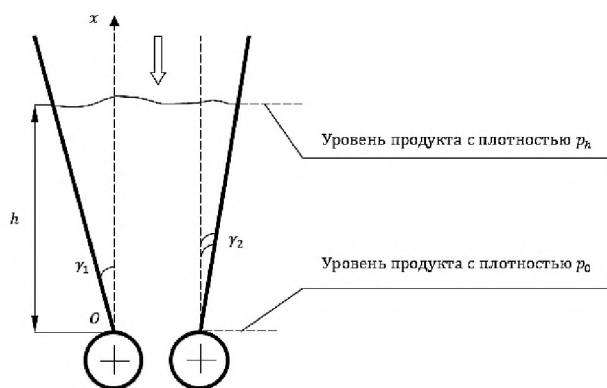


Рис. 1

Схема вертикальной шахты с переменной площадью поперечного сечения представлена на рис. 1. Высота заполнения шахты равна h . Координатную ось Ox направим вдоль вертикального ребра шахты в направлении, противоположном вектору ускорения свободного падения. Начало системы координат Ox расположим на нижней горизонтальной грани столба смеси в шахте. Пусть плотность волокнистого материала в шахте ρ , а плотность волокнистой составляющей в его массе в шахте ρ_v . Обозначим засоренность волокнистого материала через y_3 . Доля волокнистой составляющей в общей массе волокнистого материала в данном объеме составляет $y_B = 1 - y_3$.

Площадь поперечного сечения крайних вертикальных шахт смесовых камер S зависит от x . Определим $S(x)$. В нижнем сечении рассматриваемых шахт расстояние между передней и задней стенками равно a_0 , а угол наклона левой стенки шахты γ_1 , правой γ_2 (рис. 2). Расстояние между стенками описывается линейным уравнением:

$$a(x) = k_a x + a_0.$$

Ранее в [4], [5] была изложена методика моделирования процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты. Ниже для этого случая приведен метод получения численной модели для расчета линейной плотности настила на выходе из модернизированного дозатора-смесителя.

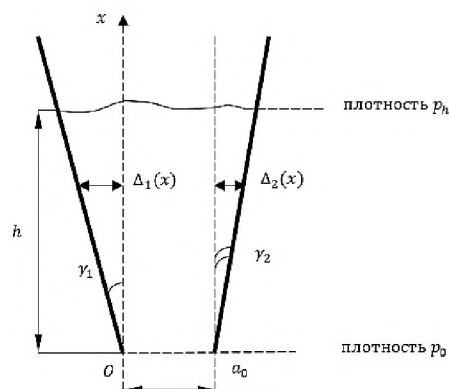


Рис. 2

Очевидно, что

$$k_a x = \Delta_1(x) + \Delta_2(x),$$

где $\Delta_1(x), \Delta_2(x)$ – приращения расстояния между стенками шахты, обусловленные их наклоном.

Величина k_a равна сумме тангенсов углов наклона прямых линий $\Delta_1(x)$ и $\Delta_2(x)$:

$$k_a = \operatorname{tg}(\gamma_1) + \operatorname{tg}(\gamma_2).$$

Обозначим через b ширину шахты. Отсюда:

$$S(x) = (k_a x + a_0)b. \quad (1)$$

В [4] выведено следующее уравнение, моделирующее параметр $\sigma(x)$ – давление между соседними слоями волокнистой смеси в шахте:

$$\sigma'(x) + \Phi(x)\sigma(x) + \rho g = 0, \quad (2)$$

где $\Phi(x) = \frac{k_a b - 2\mu k_{\text{тр}}[a(x)+b]}{a(x)b}$; μ – коэффициент поперечного распора (отношение давления волокнистого материала на стенки

шахты к давлению, сжимающему слой в вертикальном направлении); $k_{тр}$ – коэффициент трения волокнистого материала о стенки шахты; g – ускорение свободного падения.

Считаем, что зависимость, учитывающая изменение плотности волокнистой составляющей смеси при изменении давления σ , описывается линейной моделью:

$$\rho_b = k\sigma + \rho_{вн}. \quad (3)$$

Очевидно, что плотность волокнистой смеси вычисляется по следующей формуле:

$$\rho = \frac{1}{y_b}(k\sigma + \rho_{вн}). \quad (4)$$

Следовательно,

$$\sigma'(x) + \Phi(x)\sigma(x) + \frac{1}{y_b}(k\sigma + \rho_{вн})g = 0. \quad (5)$$

Обозначим:

$$\lambda(x) = \frac{2\mu k_{тр}[a(x)+b]}{a(x)b}.$$

$$M(x) = -\frac{2\mu k_{тр}}{b} - \frac{2\mu k_{тр}}{a(x)} + \frac{k_a}{a(x)} + \frac{kg}{y_b} = \frac{1}{a(x)}(k_a - 2\mu k_{тр}) + \frac{kg}{y_b} - \frac{2\mu k_{тр}}{b} = \frac{Q_1}{a(x)} + Q_2,$$

где

$$Q_1 = k_a - 2\mu k_{тр};$$

$$Q_2 = \frac{kg}{y_b} - \frac{2\mu k_{тр}}{b}.$$

Следовательно,

$$\Phi(x) = \frac{k_a}{a(x)} - \lambda(x).$$

Подставим в (5) выражение для $\Phi(x)$:

$$\sigma'(x) - \frac{k_a\sigma(x)}{a(x)} - \lambda(x)\sigma(x) + \frac{k\sigma(x)}{y_b}g + \frac{\rho_{вн}g}{y_b} = 0.$$

Преобразуем полученное уравнение:

$$\sigma'(x) + M(x)\sigma(x) = -N, \quad (6)$$

где

$$M(x) = \frac{kg}{y_b} + \frac{k_a}{a(x)} - \lambda(x);$$

$$N = \frac{g\rho_{вн}}{y_b}.$$

Приведем выражение для $M(x)$ к более удобной для последующих расчетов форме:

Согласно [3] решение линейного дифференциального уравнения (6) записывается в виде:

$$\sigma(x) = \exp\left(-\int_0^x M(\xi)d\xi\right) \left[\sigma_0 - N \int_0^x \exp\left(\int_0^\eta M(\xi)d\xi\right)d\eta\right], \quad (7)$$

где $\sigma_0 = \sigma(0)$.

Принимая во внимание, что $\sigma(h) = p$, а также то, что $\exp\left(-\int_0^h M(\xi)d\xi\right) \neq 0$, получаем:

$$\sigma_0 = p \exp\left(\int_0^h M(\xi)d\xi\right) + N \int_0^h \exp\left(\int_0^\eta M(\xi)d\xi\right)d\eta. \quad (8)$$

Вычисляем интеграл:

$$\int_0^\eta M(\xi)d\xi = \int_0^\eta \left(\frac{Q_1}{a(\xi)} + Q_2\right)d\xi = Q_1 \int_0^\eta \frac{d\xi}{a(\xi)} + Q_2 \eta.$$

Так как $a(x)$ – линейная функция, то

$$\int_0^\eta \frac{d\xi}{a(\xi)} = \int_0^\eta \frac{d\xi}{k_a \xi + a_0} = \frac{1}{k_a} \int \frac{d(k_a \xi + a_0)}{k_a \xi + a_0} = \frac{1}{k_a} \ln k_a \xi + a_0 \Big|_0^\eta =$$

$$= \frac{1}{k_a} [\ln(k_a \eta + a_0) - \ln a_0] = \frac{1}{k_a} \ln \frac{k_a \eta + a_0}{a_0} = \frac{1}{k_a} \ln Q_3(\eta),$$

где $Q_3(\eta) = \frac{k_a \eta + a_0}{a_0}$.

Проведем следующие преобразования:

$$\int_0^\eta M(\xi) d\xi = \frac{Q_1 \ln Q_3(\eta)}{k_a} + Q_2 \eta;$$

$$\exp\left(\int_0^\eta M(\xi) d\xi\right) = \exp\left\{\left[\frac{Q_1 \ln Q_3(\eta)}{k_a}\right] + Q_2 \eta\right\} = [\exp(\ln Q_3(\eta))]^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 \eta) = Q_3(\eta)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 \eta).$$

Из (8) получим, что

$$\sigma(0) = p \left[Q_3(h)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 h) \right] + N \int_0^h Q_3(\eta)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 \eta) d\eta. \quad (9)$$

Следовательно, плотность волокнистой смеси в самом нижнем сечении шахты:

$$\rho(0) = \frac{k\sigma(0) + \rho_{вн}}{y_b}.$$

Подставляя в полученную формулу выражение для $\sigma(0)$, получаем:

$$\rho(0) = \left\{ k \left\{ p \left[Q_3(h)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 h) \right] + N \int_0^h Q_3(\eta)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 \eta) d\eta \right\} + \rho_{вн} \right\} / y_b. \quad (10)$$

Линейная плотность настила на выходе из шахты в килотексах определяется по формуле:

$$T_H = 10^3 \rho(0) a_0 b,$$

или

$$T_H = 10^3 \left\{ k \left\{ p \left[Q_3(h)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 h) \right] + N \int_0^h Q_3(\eta)^{\frac{Q_1}{k_a}} \exp(Q_2 \eta) d\eta \right\} + \rho_{вн} \right\} \frac{a_0 b}{y_b}. \quad (11)$$

ВЫВОДЫ

Выведена математическая модель для расчета линейной плотности настила на выходе из шахты с переменной площадью поперечного сечения модернизированного дозатора-смесителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. 2595992 Российская Федерация. Способ получения многослойных волокнистых материалов и устройство для его осуществления / Г.А. Хосровян, А.Г. Хосровян, Т.Я. Красик, М.А. Тувин, И.Г. Хосровян. – Оpubл. 05.08.2016.

2. Красик Т.Я., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Общая теория движения волокнистых материалов в шахте бункерных питателей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №1. С. 75...79.

3. Хосровян И.Г., Хосровян А.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А. Разработка теории выравнивающей способности устройства для получения многослойных волокнистых материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2013, №6. С. 79...82.

4. Тувин М.А., Хосровян И.Г., Красик Т.Я., Хосровян Г.А., Тувин А.А. Математическое моделирование

ние процесса движения волокнистой смеси в бункерном питателе с переменной площадью поперечного сечения шахты //Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, №2. С. 83...87.

5. Красик Т.Я., Хосровян А.Г., Хосровян Г.А. Методика определения линейной плотности настила на выходе из бункерного питателя, оснащенного системой обеспыливания // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011, №5. С. 79...82.

REFERENCES

1. Pat. 2595992 Rossijskaja Federacija. Sposob polucheniya mnogoslojnyh voloknistyh materialov i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija / G.A. Hosrovjan, A.G. Hosrovjan, T.Ja. Krasik, M.A. Tuvin, I.G. Hosrovjan. – Opubl. 05.08.2016.

2. Krasik T.Ja., Hosrovjan A.G., Hosrovjan G.A. Obshhaja teorija dvizhenija voloknistyh materialov v shahte bunkernyh pitatelej // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №1. S. 75...79.

3. Hosrovjan I.G., Hosrovjan A.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A. Razrabotka teorii vyravnivajushhej sposobnosti ustrojstva dlja polucheniya mnogoslojnyh voloknistyh materialov // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2013, №6. S. 79...82.

4. Tuvin M.A., Hosrovjan I.G., Krasik T.Ja., Hosrovjan G.A., Tuvin A.A. Matematicheskoe modelirovanie processa dvizhenija voloknistoj smesi v bunkernom pitatele s peremennoj ploshhad'ju poperechnogo sechenija shahty //Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2015, №2. S. 83...87.

5. Krasik T.Ja., Hosrovjan A.G., Hosrovjan G.A. Metodika opredelenija linejnoy plotnosti nastila na vyhode iz bunkernogo pitatelja, osnashhennogo sistemoj obespylivanija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2011, №5. S. 79...82.

Рекомендована кафедрой технологических машин и оборудования. Поступила 07.02.17.