УДК 681.269

СВОЙСТВА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ

Кошевой Н.Д., Черепащук Г.А., Калашников Е.Е., Сироклын В. П.

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"

Проведен анализ свойств сыпучих материалов, которые влияют на точность непрерывного дозирования конвейерными и лотковыми весодозирующими системами.

Постановка проблемы. Непрерывное дозирование сыпучих материалов стало неотъемлемой частью современных технологических процессов многих предприятий металлургической и пищевой промышленностей. К наиболее распространенным весодозирующим системам, можно отнести конвейерные и лотковые системы, а также различные технические решения на основе комбинаций этих систем. Функционирование весодозирующего оборудования в значительной степени зависит от гранулометрического состава и физико-механических свойств дозируемого материала.

Анализ основных исследований и публикаций. С увеличением неоднородности дозируемого материала возрастает значение мгновенного отклонения производительности питателей от среднего значения, увеличивается погрешность дозирования [1]. Гранулометрический состав сыпучего материала характеризуется количественным распределением составляющих частиц по крупности.

Влажность сыпучих материалов влияет на многие их свойства: текучесть, коэффициент внутреннего трения, смерзаемость, сводообразование, комкуемость, плотность и т.д. [1,2].

Увеличение влажности, как правило, ухудшает характеристику истечения сыпучего материала. Одним из основных показателей подвижности сыпучего материала является угол естественного откоса, определяемый силами трения, которые зависят от формы, размера частиц и влажности. Тангенс угла естественного откоса α есть коэффициент внутреннего трения сыпучего груза $f' = \mathrm{tg}\,\alpha$.

Коэффициент внешнего трения сыпучего материала по испытуемому материалу соответствует тангенсу угла наклона поверхности, при котором частицы материала скатываются. Угол трения сыпучего материала о стенки бункера в любых условиях не должен быть больше угла внутреннего трения, так как сдвиг происходил бы не по стенке бункера, а по проходящей в непосредственной близости от нее поверхности внутри материала [3].

Частицы сыпучих материалов способны прилипать к твердым поверхностям (подложкам). Это свойство, как и в случае прилипания жидкостей к подложкам, называют адгезией [4]. Адгезия частиц к твердым поверхностям обусловлена силами, различными по своей природе: молекулярными, капиллярными, электрическими и кулоновскими. Различная природа составляющих силы адгезии не позволяет найти единое средство к ее снижению [4,5]. Силы адгезии можно оценить величиной отрывающей силы $F_{отр}$.

Цель статьи. Изучение свойств сыпучих материалов, влияющих на точность непрерывного дозирования весодозирующими системами.

Основные материалы исследования. Предположим, частица сыпучего материала массой m с коэффициентом трения f_d движется по наклонному весоизмерительному лотку, и происходит только скольжение материала по поверхности весоизмерительного лотка, без перемещения частиц внутри сыпучего материала.

Рассмотрим основные силы, действующие на частицу сыпучего материала движущегося по наклонной плоскости вниз: сила трения $F_{тр}$, направленная параллельно наклонному лотку, и сила тяжести G.

Коэффициент трения покоя f_0 численно равен тангенсу предельного угла наклона поверхности, при котором находящийся на ней сыпучий материал приходит в движение [4]. С учетом отрывающей силы $F_{отр}$ представляем силу трения, которую должна преодолеть частица для начала движения по наклонной плоскости[5]:

$$F_{тр} = f_0 v(\rho_1 - \rho_2) g \sin\alpha,$$

где v – объем отрывающейся частицы;

ρ_1 – плотность частицы;

ρ_2 – плотность окружающей среды (воздуха или жидкости);

g – ускорение силы тяжести;

α – угол наклона весоизмерительного лотка.

Уравнение, констатирующее равенство приращения кинетической энергии частицы работе, смещающей силы на пути L по наклонному лотку имеет вид [4]:

$$\frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2} = (mg\sin\alpha - mgf_0\cos\alpha)L,$$

где V_1 – начальная скорость движения частицы по плоскости;

V_2 – скорость частицы сыпучего материала на выходе с весоизмерительного лотка.

Данное уравнение справедливо при выполнении следующего условия [5]:

$$\alpha_{внутр} > \alpha > \alpha_{движ},$$

где $\alpha_{внутр}$ – угол внутреннего трения частиц сыпучего материала;

$\alpha_{движ}$ –угол наклона весоизмерительного лотка, при котором сыпучий материал приходит в движение.

Решая уравнение относительно V_2, получим:

$$V_2 = \sqrt{(2g\mathrm{L}(\sin\alpha - f_d\cos\alpha) + V_1^2}\ .$$

В работе [1] вводится множитель $\left(1+\frac{nh}{b}\right)$, учитывающий сопротивление боковых стенок наклонного лотка с прямоугольной формой сечения, рекомендуемая величина которого выбирается от 1,2 до 1,4. С учетом этого V_2 определяется как:

$$V_2 = \sqrt{(2g\mathrm{L}(\sin\alpha - f_d\left(1+\frac{nh}{b}\right)\cos\alpha) + V_1^2}\ .$$

Влажность дозируемого материала существенно влияет на коэффициент его трения по поверхности лотка, а следовательно, и на силовое воздействие на весоизмерительный датчик [4].

сновной фактор, определяющий статическую нагрузку конвейера, – сила трения, действующая между лентой и поддерживающими роликами [6, 7].

Согласно методике расчета конвейеров [6], мгновенная масса сыпучего материала на ленте конвейера определяется из выражения:

$$m_{мгн} = \rho_н S_{площ} L_{конв}\,,$$

где $\rho_н$ – насыпная плотность;

$S_{площ}$ – площадь поперечного сечения материала на конвейере;

$L_{конв}$ – длина конвейера.

С учетом того, что насыпная плотность определяется как произведение коэффициента разрыхления $K_p = 0{,}567...0{,}9054$ на плотность ρ сыпучего материала. Тогда с учетом влагосодержания W [5] выражение примет вид:

$$m_{мгн} = K_p\rho(1+W)S_{площ}L_{конв}\,.$$

Погонная масса сыпучего материала определяется по формуле:

$$m_{пог} = K_p\rho(1+W)S_{площ}\,.$$

В работе [6] коэффициент разрыхления сыпучего материала на ленте конвейера определяется как отношение площади груза на ленте к площади поперечного сечения груза на ленте (делается допущение что груз расположен на ленте конвейера в форме эллипса, а сыпучий материал- частицы круглой формы), и определяется в виде выражения:

$$K_p(r) = \frac{\pi(0{,}64B^2 + 1{,}6Br)}{2\sqrt{3}(0{,}64B^2 + 2{,}34Br + 2{,}92r^2)}\,,$$

где B – ширина ленты конвейера;

r – радиус частицы.

Данное описание не учитывает влагу, которая заполнит поры даже между самыми мелкими частицами, но в целом справедливо. Учитывая это, объединим K_p и $(1+W)$ в один коэффициент разрыхления, учитывающий влагосодержание сыпучего материала:

$$K_{рв} = K_p(1+W)\,.$$

Преобразуем выражение для определения силы сопротивления на прямолинейном участке конвейера участка [7] с учетом влагосодержания сыпучего материала:

$$\Delta F_n = K_{рв}\rho S_{площ}L_{конв}\left(k_n\left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_{кач}}{D}\right)\cos\phi + \sin\phi\right),$$

где k_n – результирующий коэффициент сопротивления движению на прямолинейном участке, который равен от 1,1 до 1,3;

μ – коэффициент трения в подшипниках;

$f_{кач}$ – коэффициент трения качения роликов и катков;

D, d – внешний и внутренний диаметр роликов.

ϕ – угол наклона конвейера.

На участках изгиба сила сопротивления движению определяется из выражения [7]:

$$\Delta F_и \approx T_{нб}\left(\xi + \frac{2\mu d}{D}\sin\frac{\theta}{2}\right),$$

где ξ – коэффициент сопротивления движению от изгиба тягового элемента;

$T_{нб}$ – натяжение в набегающей точке участка;

θ – угол, образуемый сектором начала и окончания участка изгиба.

Результирующая сила сопротивления (расчетная статическая нагрузка $F_{ст}$) движению определяется как сумма сил всех участков, учитывая то, что в данной работе рассматривается только один прямолинейный участок, получим:

$$F_{ст} = \sum_{i=1}^{n}\Delta F_n i + \sum_{i=1}^{n}\Delta F_и i\,,$$

$$F_{ст} = K_{рв}\rho S_{площ}L_{конв}\left(k_n\left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2f_{кач}}{D}\right)\cos\phi + \sin\phi\right).$$

Динамическая нагрузка привода конвейера возникает в процессе пуска и определяются движущимися массами конвейера и его привода [7]:

$$F_{дин} = \sum_{i=1}^{n} m_i a_П + \left(J_{дв} i_p^2 + J_П\right)\frac{a_П}{R_П^2},$$

где $F_{дин}$ – динамическая сила на приводном барабане радиусом $R_П$;

m_i – масса движущихся элементов прямолинейного участка с массой элементов предшествующего участка изгиба;

$J_{дв}, J_П$ – моменты инерции двигателя и привода;

i_p – передаточное число редуктора привода;

$a_П$ – ускорение конвейера при пуске.

В соответствии с расчетной статической нагрузкой $F_{ст}$ [7] определим мощность электропривода конвейера:

$$P_c = \frac{V_{конв} K_з K_{рв} \rho S_{площ} L_{конв}\left(k_п\left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2 f_{кач}}{D}\right)\cos\phi + \sin\phi\right)}{\eta_p},$$

где $V_{конв}$ – скорость движения ленты конвейера;

η_p – коэффициент полезного действия редуктора электропривода.

$K_з$ – коэффициент запаса, равный от 1,1 до 1,3.

Определим момент сопротивления $M_{ст}$ [7] на валу асинхронного электродвигателя при известном передаточном числе редуктора:

$$M_{ст} = \frac{K_з K_{рв} \rho S_{площ} L_{конв} D_п\left(k_п\left(\frac{\mu d}{D} + \frac{2 f_{кач}}{D}\right)\cos\phi + \sin\phi\right)}{2 i_p \eta_p},$$

где $D_п$ – диаметр приводного элемента.

Для предотвращения преждевременного старения и отказов асинхронного электродвигателя из-за выплавления обмоток ротора [6], при выборе двигателя необходимо руководствоваться следующим принципом: электромагнитный момент асинхронного электродвигателя, должен быть равен или превосходить момент сопротивления $M_{ст}$. Математическая модель ленточного конвейера позволяет учесть дополнительные инерционные массы, вызванные наличием влаги в дозируемом материале, и случайный характер насыпной плотности, от которых зависит динамическая нагрузка на элементы конструкции конвейера.

Выводы. Проведенный анализ показал необходимость построения математических моделей, которые бы в полной мере описывали характер движения сыпучего материала по рабочим поверхностям весодозирующих систем, с учетом физико-механических свойств сыпучих материалов. Это нужно для повышения надежности и точности дозирования данных систем.

Список использованных источников

1. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков– М.: Машиностроение, 1994. –241с.
2. Голованов Ю.В. Механика гранулированных сред/ Ю. В. Голованов, И. В. Ширко. – М.: Мир, 1985. – 280 с.
3. Рогинский Г. А. Дозирование сыпучих материалов/ Г. А. Рогинский М: Химия, 1978.–176с.
4. Першина С.В. Весовое дозирование зернистых материалов / С.В.Першина, А.В. Каталымов и др. – М.: Машиностроение, 2009. – 260с.
5. Шубин И. Н. Технологические машины и оборудование. Сыпучие материалы и их свойства:учебное пособие для вузов/ И. Н. Шубин, М. М. Свиридов, В. П. Таров. − Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005.− 76 с.
6. Ткачук А. Н. Оценка влияния гранулометрического состава транспортируемого груза на режим работы приводных двигателей ленточных и скребковых конвейеров/ А. Н. Ткачук, А. А. Жаботин. // Взрывозащищенное электрооборудование 2009. Сборник научных трудов.– Донецк: УкрНИИВЭ.– 2009.– С. 235–245.
7. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебное пособие для вузов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов.– М: Издательский центр «Академия». – 2007.– 576с.

Анотація

ВЛАСТИВОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ БЕЗПЕРЕРВНОГО ДОЗУВАННЯ

Кошовий М.Д., Черепащук Г.О., Калашніков Є.Є., Сіроклин В.П.

Проведено аналіз властивостей сипких матеріалів, що впливають на точність безперервного дозування конвеєрними та лотковими вагодозуючими системами.

Abstract

THE PROPERTIES OF LOOSE MATERIALS, THAT INFLUENCING TO ACCURACY OF CONTINUOUS DOSING

N. Koshevoy, G. Cherepashyk, E. Kalashnikov, V. Siroklin

The analysis of loose materials properties influencing to accuracy of continuous dosing by conveyor line and weight-metering tray sistems