

сильвинитовой руды перед ее флотацией уменьшит число отстойников и позволит осуществить совместную фильтрацию глинистых и солевых шламов. Это в свою очередь позволит сократить площадь земель, занятых жидкими глинистыми шламами калийных предприятий, и уменьшит угрозу засоления почв и водоемов.

УДК 621.926.3

А. А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук
Ю.И. Подобед, студ. (БГТУ, г. Минск)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕМ РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОМ СМЕСИТЕЛЕ

В настоящее время процесс приготовления однородных по составу смесей порошкообразных и зернистых материалов применяется во многих отраслях промышленности (химической, строительной, фармацевтической, пищевой, комбикормовой, металлургической и т. д.). В технологических процессах выше упомянутых производств смесительные аппараты занимают одно из ответственных мест. Во многих случаях процесс смешения является подчиненным, но, тем не менее, имеющим большое значение для основных технологических процессов и, в конечном счете, часто определяющим качество готовой продукции.

На современном этапе интенсификация процессов перемешивания сухих сыпучих материалов при снижении их энергоемкости является актуальной задачей для большинства вышеперечисленных производств Республики Беларусь. В большинстве случаев данная задача решается путем реконструкции или модернизации существующего смесительного оборудования, или же путем создания и внедрения новых высокоэффективных энергосберегающих машин и аппаратов.

На основании всестороннего анализа современной научно-технической и патентной литературы, на кафедре «Машины и аппараты химических и силикатных производств» Белорусского государственного технологического университета была разработана новая энергосберегающая конструкция роторно-центробежного смесителя для перемешивания сухих сыпучих материалов. Описание конструкции и принципа действия данного аппарата были подробно изложены в тезисах доклада [1] и в заявке на изобретение за № а 20090025 от 09.01.2009.

Для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров роторно-центробежного смесителя (например, угла наклона лопаток, их профиля и т.д.) необходимо провести математическое моделирование процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в данном аппарате. При этом большой практический интерес представляет характер движения частиц основного компонента смеси в межлопат-

ном пространстве ротора и в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и стенкой цилиндрической обечайки смесителя.

Для определения оптимального характера движения одиночной частицы материала в межлопастном пространстве смесителя аналитическим путем была составлена система дифференциальных уравнений движения одиночной частицы материала по наклонной лопатке аппарата:

$$\left\{ \begin{array}{l} m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = F_o \cdot \cos \varphi - F_{\delta\delta} \\ m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} = F_o \cdot \sin \varphi + N - F_c \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где $F_o = m\omega^2 r$ – центробежная сила инерции, Н; $F_{mp} = f \cdot N$ – сила трения частицы о поверхность лопатки, Н; $F_c = 2\omega \cdot (dx/dt)$ – кориолисова сила инерции, Н; $N = 2m\omega \frac{dx}{dt} - m\omega^2 \cdot R_1 \cdot \sin \theta$ – реакция опорной поверхности, Н; φ – угол наклона лопатки относительно радиального направления, град.; t – время движения частицы материала в межлопастном пространстве, с; r – текущий радиус движения частицы материала, м; R_1 – внутренний радиус ротора по концам лопаток, м; y – текущая ордината частицы, м; θ – угол наклона лопатки, град.; f – коэффициент трения материала частицы о стенку смесителя; ω – угловая скорость вращения ротора, c^{-1} [2].

Для определения оптимального характера движения одиночной частицы материала в кольцевом зазоре между выходной кромкой лопаток и цилиндрической стенкой корпуса смесителя была получена система дифференциальных уравнений движения одиночной частицы материала в кольцевом зазоре аппарата:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU_r}{d\tau} = 18 \frac{k}{d^2} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_M} (W_r^{cp} - U_r) \left[1 + 0,17 \left(\frac{d|W_r^{cp} - U_r|}{v_*} \right)^{\frac{2}{3}} \right] v_B + \frac{U_r^2}{R} \\ \frac{dU_\tau}{d\tau} = 18 \frac{k}{d^2} \cdot \frac{\rho_B}{\rho_M} (W_r^{cp} - U_r) \left[1 + 0,17 \left(\frac{d|W_r^{cp} - U_r|}{v_*} \right)^{\frac{2}{3}} \right] v_B + \frac{U_r \cdot U_\tau}{R}, \\ \frac{dR}{d\tau} = U_r, \\ \frac{d\varphi}{d\tau} = \frac{U_\tau}{R}, \end{array} \right. \quad (2)$$

где U_r (U_x) – относительная (переносная) скорость движения частицы материала в кольцевом зазоре смесителя, м/с; R – текущий радиус движения

частицы материала в кольцевом зазоре ($R=R_2+R_3$), м; R_2 – наружный радиус лопаток роторного колеса, м; R_3 – радиус цилиндрической обечайки смесителя, м; $W_{\text{ср}}^{n0}$ ($W_{\text{ср}}^{n0}$) – среднее значение относительной (переносной) скорости движения воздушного потока в кольцевом зазоре смесителя, м/с; d – средний диаметр частицы материала, м; ρ_a (ρ_1) – плотность воздуха (сыпучего материала), кг/м³ [3].

Совместное решение численными методами систем дифференциальных уравнений (1) и (2) позволило получить теоретическую зависимость абсолютной скорости движения частицы материала от текущего радиуса смесителя при различных частотах вращения ротора аппарата (рисунок 1), траекторию движения частицы материала в кольцевом зазоре смесителя при различных частотах вращения ротора (рисунок 2), а также зависимость угла атаки от угла наклона разгонной лопатки смесителя (рисунок 3).

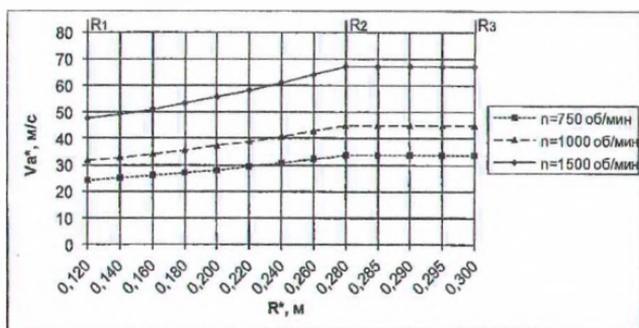


Рисунок 1 – Зависимость абсолютной скорости движения частицы материала в межлопастном пространстве и в кольцевом зазоре смесителя от его текущего радиуса

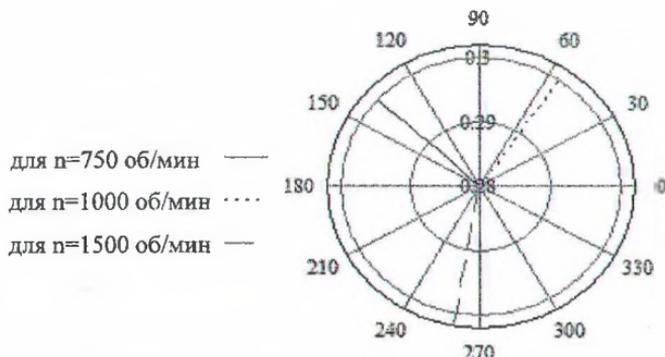


Рисунок 2 – Траектория движения частицы материала в кольцевом зазоре смесителя

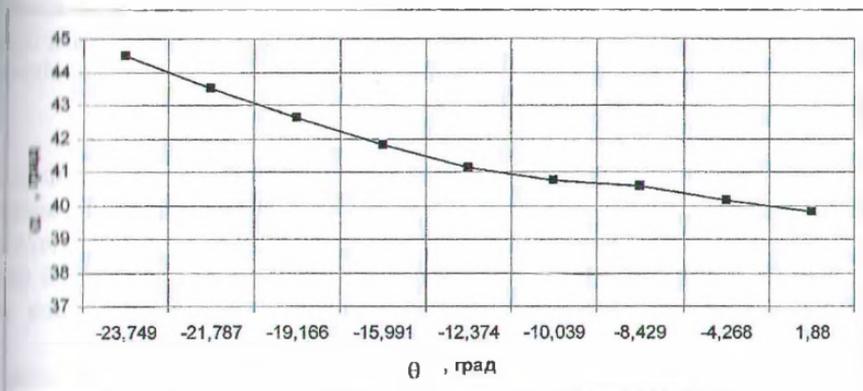


Рисунок 3 – Зависимость угла атаки от угла наклона разгонной лопатки смесителя

Для проверки адекватности разработанной выше математической модели, в среде программного продукта SolidWorks была разработана трехмерная твердотельная модель роторно-центробежном смесителе [1] и при помощи модуля COSMOSFloWorks проведен комплексный аэродинамический анализ процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в данном аппарате. Расхождение полученных результатов от приведенных на рисунках 1–3 составила 3–5%. Таким образом можно сделать вывод, что представленная выше математическая модель является вполне пригодной для оценки характера протекания процесса перемешивания сухих сыпучих материалов в роторно-центробежном смесителе и инженерного расчета его оптимальных конструктивно-технологических параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1 Гарабажиу, А. А. Энергосберегающая конструкция роторно-центробежного смесителя для перемешивания сухих сыпучих материалов / А. А. Гарабажиу. // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: материалы докл. междунар. научно-технической конферен., 19-20 нояб. 2008 г. / Минист. образ. РБ. БГТУ. – Минск, 2008. – С 215–218.

2 Левданский, Э. И., Чиркун Д. И., Гребенчук П. С. Некоторые пути совершенствования процесса измельчения в мельницах ударно-металлического типа / Э. И. Левданский, Д. И. Чиркун, П. С. Гребенчук // Строительная наука и техника. – 2008. – № 2. – С. 99–102.

3 Гарабажиу, А. А. Разработка и исследование вихревой мельницы с непрерывной проточной классификацией готового продукта: дис. ... канд. техн. наук: 15.07.08 / А. А. Гарабажиу. – Минск, 2000. – 206 с.