

ДИНАМИКА ПРОВАЛИВАНИЯ МАТЕРИАЛА ЧЕРЕЗ ЩЕЛИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КОНИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Малеев В.Б., докт. техн. наук, проф., Парфенюк А.С., канд.

техн. наук, проф., Журба В.В., канд. техн. наук, доц.,

Кудрявцев А.А. аспирант

Донецкий национальный технический университет

Описана динамика процесса проваливания подрешетной частицы через отверстия просеивающей поверхности при сепарации твердых промышленных и бытовых отходов.

Dynamics is described of a sub-lattice particle fall process through sifting surface slots at separation of solid industrial and sanitary (domestic) wastes.

Проблема и её связь с научными или практическими задачами. Применяемые в настоящее время способы решения проблемы твёрдых отходов в подавляющем большинстве сводятся к пассивным методам, включающим компактирование, капсулирование, захоронение или складирование. Такая практика приводит к непрерывному возрастанию их объёмов, исчисляемых десятками миллионов кубометров, почти полным отсутствием переработки и уже накопленными запасами самых разнообразных отходов на многочисленных полигонах и неконтролируемых свалках.

Из активных методов утилизации твёрдых бытовых отходов (ТБО) доминирующим является сжигание (каждая тонна отходов отдаёт городу около 1 гигакалории тепловой энергии, что экономит примерно 150 кг топлива). Однако, при наиболее распространенном непосредственном сжигании мусора выделяются твёрдые и газообразные отравляющие вещества - если исходная смесь ТБО содержит 5 веществ, то при сжигании образуется более 200 соединений. Существенно очистить выбросы в атмосферу от многих опасных компонентов позволяет предварительная сортировка мусора. Процент не утилизируемой части бытовых отходов, подлежащей захоронению после сжигания, при использовании предварительной сепарации снижается в 2 раза. Предварительная сепарация улучшает экологические показатели и других методов переработки мусора [1].

При этом разделение или классификация отходов с получением разных фракций, относительно однородных по морфологическому составу и кружности является одной из главных трудностей создания предприятий по их переработке. В связи с этим всё более актуальны разработки и исследования в области создания техники и технологии для классификации твёрдых отходов.

Процесс классификации в центробежном поле влажных твёрдых бытовых отходов и углей в значительной мере определяется относительным движением частиц по конической просеивающей поверхности. При этом необходимо получить условия, обеспечивающие восходящее движение частицы и её проваливание в щель просеивающей поверхности.

Анализ исследований и публикаций. В известных работах [2-4] описаны процессы классификации влажных углей на наклонных вращающихся поверхностях, но при этом не исследовалось движение частицы в зарешётном пространстве, не определялись скорости частиц при массовом движении их по просеивающей поверхности ротора и т.д. В работах [5-6] были получены дифференциальные уравнения, описывающие восходящее движение частицы твёрдых бытовых отходов или угля на наклонной вращающейся поверхности, получены законы изменения проекций скорости и ускорения частицы на подвижные оси, но не определялись условия её проваливания в щель просеивающей поверхности.

Постановка задачи. В предлагаемой статье определяются условия, обеспечивающие проваливание в щель просеивающей поверхности вращающегося ротора зёрен с верхним граничным размером подрешётной частицы.

Изложение материала и результаты. Рассмотрим движение отдельной материальной точки (частицы) по внутренней поверхности кругового конуса, вращающегося вокруг вертикальной оси с постоянной угловой скоростью ω (рис. 1).

Считаем, как и в работе [6], координатными линиями, отвечающими координатам ψ и α будут окружности с центрами в точках O и O_1 соответственно. Координатная линия, отвечающая координате ξ , совпадает с образующей конуса. На рис. 1 изображены координатные оси (касательные к координатным линиям в данной точке M) ξ , ψ и α , образующие друг с другом прямые углы. Таким образом, введена жёстко связанная с корпусом сферическая система обобщённых координат ξ , ψ и α .

Относительное движение надрешётной частицы твёрдых бытовых отходов или угля по внутренней поверхности вращающегося конуса описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений [6]:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{\xi} - \xi \cdot \sin^2 \alpha \cdot (\omega - \dot{\psi})^2 + f \left[g \cdot \sin \alpha + \xi (\omega - \dot{\psi})^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \times \\ \times \frac{\dot{\xi}}{\sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\psi}^2 \xi^2 \sin^2 \alpha}} + g \cdot \cos \alpha = 0, \\ \ddot{\psi} - 2 \frac{\dot{\xi}}{\xi} (\omega - \dot{\psi}) + f \left[g \cdot \sin \alpha + \xi (\omega - \dot{\psi})^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \right] \times \\ \times \frac{\dot{\psi}}{\sqrt{\dot{\xi}^2 + \dot{\psi}^2 \xi^2 \sin^2 \alpha}} = 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ξ , ψ , α - жёстко связанная с конусом сферическая система обобщённых координат (рис. 1); ω - угловая скорость ротора, c^{-1} ; f - коэффициент трения.

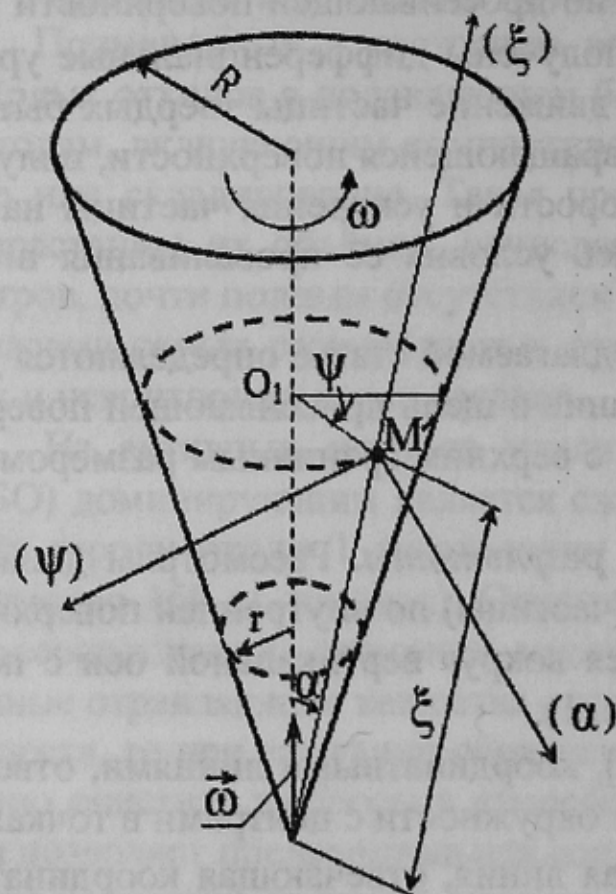


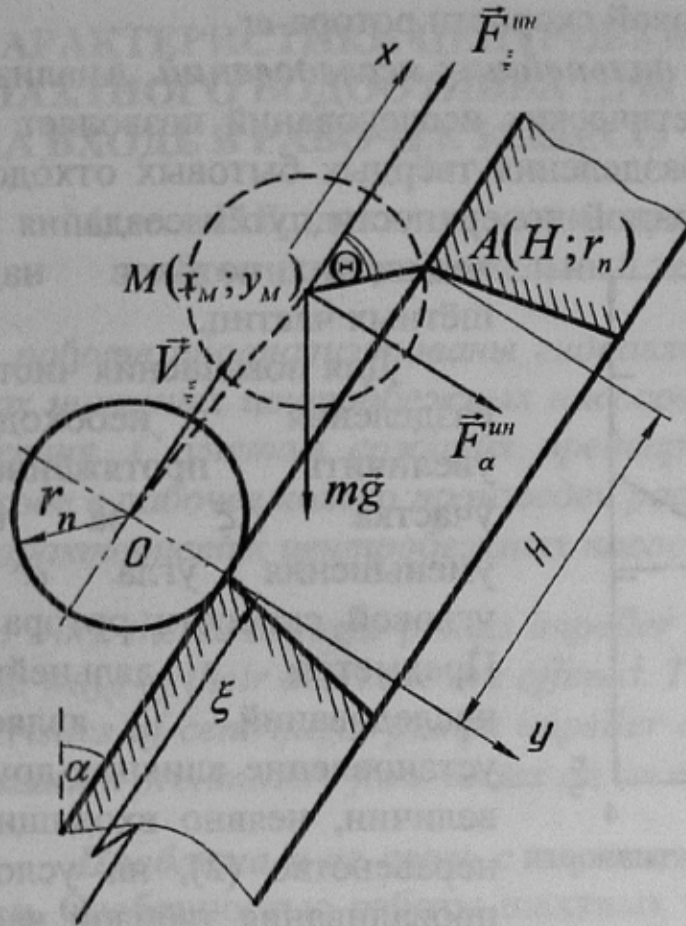
Рисунок 1 - Подвижная сферическая система координат надрешётной частицы

Имея запас кинетической энергии, частица, оторвавшись от кромки отверстия, в течение короткого промежутка времени t находится в состоянии свободного полёта.

Динамика процесса проваливания подрешётной частицы размером Γ_n , находящейся у щели с координатой ξ , через отверстие просеивающей поверхности показана на рис.2.

К частице приложены силы: $m\vec{g}$ - сила тяжести, $\vec{F}_\xi^{un} = -m\vec{a}_\xi$ - сила инерции вдоль просеивающей поверхности и $\vec{F}_\alpha^{un} = -m\vec{a}_\alpha$ - сила инерции в направлении, перпендикулярном образующей ротора.

Исследуя условие проваливания по размеру граничного зерна



разделения, наибольший интерес представляют частицы, диаметр которых $d_n=2r_n$ близок, а в пределе даже равен ширине щели H . Для таких «труднопроходимых» частиц встреча с противоположной кромкой щели (в точке A) неизбежна.

Перейдём к рассмотрению зависимости между силами, обеспечивающими наиболее благоприятное условие проваливания. Это условие состоит в том, что сумма моментов относительно точки A сил, опрокидывающих частицу в щель (M_{plus}), больше суммы моментов сил, препятствующих проваливанию (M_{minus}), т.е.:

Рисунок 2 – Динамика процесса проваливания подрешетной частицы через отверстие просеивающей поверхности

$$mg \cdot r_n \cdot \sin(\alpha + \theta) + F_{\alpha}^{un} r_n \cdot \cos \alpha \geq F_{\xi}^{un} r_n \cdot \sin \theta$$

или, после сокращения на r_n и подстановки $F_{\xi}^{un} = ma_{\xi}$; $F_{\alpha}^{un} = ma_{\alpha}$, получаем неравенство (2).

$$g \cdot \sin(\alpha + \theta) + a_{\alpha} \cdot \cos \theta \geq a_{\xi} \cdot \sin \theta, \tag{2}$$

где $a_{\alpha} = -\xi \psi^2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$; $a_{\xi} = \ddot{\xi} - \xi \psi^2 \cdot \sin^2 \alpha$.

Соотношение между M_{plus} и M_{minus} в зависимости от положения частицы в выбранной системе отсчёта приведено на рис.3. Одним из путей увеличения количества подрешётных частиц с верхним граничным размером (уменьшения объёмов промпродукта) является увеличение протяжённости участка $\Delta \xi$. Тем самым продлевается время грохочения при благоприятных условиях. Анализ неравенства

(2) показывает, что этого можно добиться уменьшением угла α (конструктивный параметр) и угловой скорости ротора ω .

Выводы и направление дальнейших исследований. Анализ результатов проведенных теоретических исследований позволяет сделать вывод о возможности разделения твёрдых бытовых отходов и углей на вращающейся наклонной поверхности путём создания восходящих потоков надре-

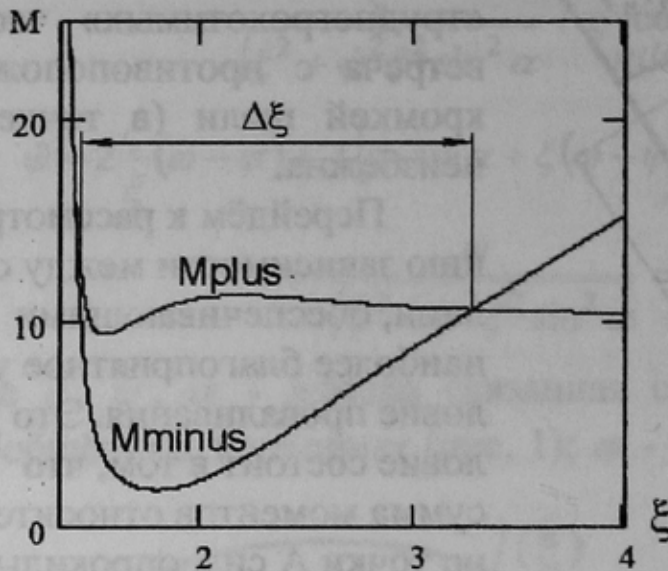


Рисунок 3 – Параметры эффективности сепарации

ходящих потоков надре- шётных частиц.

Для повышения чистоты разделения необходимо увеличить протяжённость участка $\Delta\xi$ за счёт уменьшения угла α и угловой скорости ротора ω . Предметом дальнейших исследований является установление влияния других величин, неявно входящих в неравенство (2), на условия проваливания твёрдой частицы.

Список источников:

1. В.И. Сметанин Защита окружающей среды от отходов производства и потребления. – М.: Колос, 2000. – 232 с.
2. В.В. Журба, Ф.Н. Булгаков, Б.Б. Зельдин, Л.Н. Горохова Баллистическое обогащение полезных ископаемых // Обогащение полезных ископаемых, Выпуск 35, 1985
3. Ф.Н. Булгаков Некоторые вопросы теории центробежного струйного грохота. Труды Донецкого индустриального института, том XXIX, 1959
4. Ф.Н. Булгаков, Б.Б. Зельдин Классификация углей в центробежном поле // Сб. «Обогащение полезных ископаемых», Техніка, К., 1972
5. Малеев В.Б., Парфенюк А.С., Веретельник С.П., Журба В.В., Кудрявцев А.А. Условия движения твердых частиц твердых промышленных и бытовых отходов через щели сепараторов. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 12-17 сентября 2005г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2005, т.4. – с.211-215
6. Малеев В.Б., Парфенюк А.С., Журба В.В., Кудрявцев А.А., Чубенко А.В. Восходящее движение твердых частиц на вращающейся наклонной поверхности применительно к их классификации. Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 11-16 сентября 2006г. В 5-ти томах. – Донецк: ДонНТУ, 2006, т.5. – с.274-278
7. Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье Курс теоретической механики. Том I. Госиздат технико-теоретической литературы, К., 1957

Дата поступления статьи в редакцию: 27.10.06