

УДК 66.621

В.Л. Лапшин, Е.И. Демаков

**УПРУГО-ВЯЗКО-ПЛАСТИЧНАЯ МЕХАНОРЕОЛОГИЧЕСКАЯ
МОДЕЛЬ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ВИБРОСЕПАРАЦИИ**

Разработана математическая модель, позволяющая исследовать влияние упругих, вязких (диссипативных) и пластических свойств материала на динамику ударного взаимодействия частицы материала с виброорганом сепаратора.

Семинар № 22

Практический опыт использования процессов вибрационной сепарации показывает, что для обеспечения высоких технологических показателей работы вибрационных сепараторов необходимо в каждом конкретном случае решать задачи по оценки эффективности процесса обогащения минерального сырья и выявлению рациональных режимов работы и параметров вибрационного оборудования исходя из физико-механических свойств исходных материалов [1-3].

При аналитическом исследовании процессов вибрационной сепарации для каждого компонента исходного минерального сырья, подлежащего выделению в процессе сепарации, разрабатывается исследовательская модель. При этом для осуществления процесса сепарации сыпучий материал должен перемещаться по виброоргануmonoслоем. Описывая математически динамику взаимодействия виброоргана с частицами, являющимися среднестатистическими представителями каждого компонента (класса, фракции) исходного сырья, по расхождению траекторий движения частиц, полученных в результате

расчетов, оценивают эффективность разделения исходного сырья и при необходимости осуществляют оптимизацию оборудования по параметрам и режимам работы [2, 3].

Как показал обзор и анализ существующих теоретических подходов и исследовательских моделей процессов вибрационной сепарации, наиболее совершенными являются модели механореологического типа, состоящие из тел вибрационной реологии - упруго-инерционных, вязко-инерционных, пластично-инерционных [3,4]. Основными элементами механореологических моделей являются упругие, вязкие элементы и элементы сдвига, моделирующие пластические деформации. Численные значения данных параметров моделей неразрывно связаны с характеристиками исходного минерального сырья и рабочей поверхности виброблока сепаратора.

Наиболее простыми и широко распространенными являются упруго-вязкие механореологические модели. Они учитывают упругие свойства материала и потери энергии, которые возникают вследствие ударного взаимодействия частиц минерального сырья при движении по виброблоку сепара-

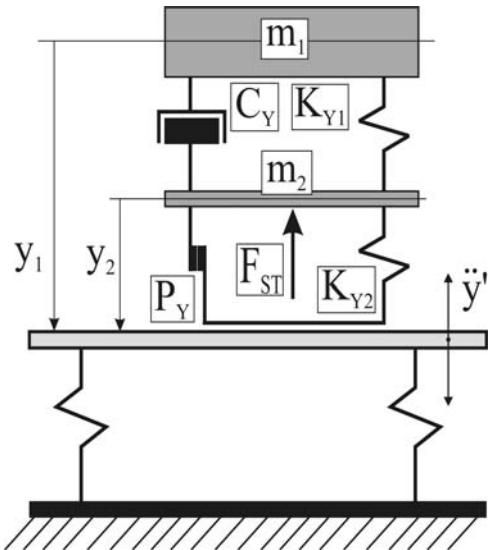
Упруго-вязко-пластичная механореологическая модель

тора. Данные факторы могут оказывать существенное влияние на процесс разделения частиц минерального сырья по их физико-механическим свойствам.

Однако недостатком упруго-вязких моделей является то, что они не описывают в явном виде необратимые процессы, которые могут протекать в ходе контактного взаимодействия частиц материала с рабочей поверхностью сепаратора. К ним можно отнести пластические деформации материала, смятие и разрушение микронеровностей на площадке контакта. Данные процессы также могут оказывать существенное влияние на динамику движения частиц и процесс вибrosепарации в целом.

Поэтому, с целью повышения достоверности моделей и расширения их возможностей была разработана более общая упруго-вязко-пластичная модель процесса вибрационного движения частиц, имеющая в своем составе дополнительный элемент сдвига, позволяющий отдельно учитывать потери энергии при ударном взаимодействии, связанные с необратимыми процессами. Построение данной модели выполнено на основе упруго-вязко-пластичной модели, разработанной для теоретического исследования ударных процессов [5].

Процесс вибрационного движения частиц материала включает несколько этапов. На этапе движения частицы в контакте свибоорганом частица приобретает определенную скорость движения. В момент, когда сила нормальной реакции частицы на рабочую поверхность становится равной нулю, происходит отрыв частицы от вибро-



органа. На этапе полета частица перемещается надвибоорганом. Рассмотрим процесс ударного взаимодействия частицы материала с рабочей поверхностью вибооргана в нормальном направлении.

Упрощено данный процесс можно представить следующим образом. В начальный момент контакта система частицы-рабочая поверхность вибооргана испытывает упругую деформацию. При определенных условиях, когда контактное усилие достигает предельного значения, параллельно могут развиваться необратимые процессы, о которых говорилось выше. При разгрузке системы, когда контактное усилие уменьшается от своего максимального значения до нуля, исчезают только упругие деформации. Потенциальная энергия упругой деформации переходит в кинетическую энергию движения частицы на этапе полета.

Схема упруго-вязко-пластичной механореологической модели приводится на рисунке. Модель описывает движение центра тяжести частицы

(m_1) и включает в себя два последовательных блока: упруго-вязкий блок $K_{Y1} - C_Y$ и упруго-пластический блок $K_{Y2} - P_Y$. Блок $K_{Y1} - C_Y$ описывает упругие деформации системы и учитывает возникающие при этом потери энергии с помощью демпфера C_Y . Сила сопротивления упруго-вязкой деформации определяется:

$$N_1 = F_{\text{дис}} + F_{\text{упр1}};$$

$$F_{\text{дис}} = C_Y (\dot{y}_1 - \dot{y}_2);$$

$$F_{\text{упр1}} = K_{Y1} (y_1 - y_2),$$

• •

где $y_1, y_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2$ - перемещение и скорость массы m_1 и m_2 ; K_{Y1} - коэффициент жесткости упругого элемента упруго-вязкого блока модели; C_Y - коэффициент вязкости вязкого элемента упруго-вязкого блока модели.

Блок $K_{Y2} - P_Y$ описывает пластические деформации и учитывает возникающие при этом потери энергии. Установка элемента сдвига P_Y параллельно с упругим элементом K_{Y2} обеспечивает более полное и эффективное моделирование такого явления, как упрочнение материала, которое характеризуется ростом усилия с увеличением пластической деформации. Сила сопротивления упруго-пластической деформации определяется:

$$N_2 = F_{\text{пл}} + F_{\text{упр2}};$$

$F_{\text{упр2}} = K_{Y2} y_2; F_{\text{пл}} = P_Y y_2 + F_{ST},$ где F_{ST} – усилие, соответствующее началу проявления необратимых процессов; K_{Y2} – коэффициент жестко-

сти упругого элемента упруго-пластического блока модели; P_Y - коэффициент сдвига упруго-пластического блока модели или коэффициент податливости материала.

Вся масса частицы моделируется с помощью инерционного элемента m_1 , масса элемента m_2 принимается ничтожно малой ($m_2 \rightarrow 0$), поэтому она не оказывает заметного влияние на динамику движения системы. Она введена для удобства математического описания системы с помощью двух дифференциальных уравнений второго порядка.

Функционирование упруго-вязко-пластичной модели осуществляется следующим образом. На начальном этапе ударного взаимодействия возникают только упругие деформации, поэтому деформации подвергается только упруго-вязкий блок $K_{Y1} - C_Y$. Данный блок учитывает упругие деформации и возникающие при этом потери энергии в материале. Упруго-пластический блок включается в работу, когда контактное усилие достигает заданного (пределного) значения F_{ST} , соответствующего например интенсивному появлению в материале пластических деформаций.

Когда контактное усилие достигает максимального значения N_{MAX} , наступает этап разгрузки модели. На данном этапе в работу вступает только упруго-вязкий блок, описывающий исчезновение только упругих деформаций. При этом упруго-пластический блок остается в деформированном состоянии, так как характеризует необратимые процессы, которые протекают в ходе контактного взаимодействия частиц материала с рабочей поверхностью сепаратора.

Все элементы модели имеют линейные характеристики, т.е. рассматривается наиболее простой вариант. Данный подход широко используется при построении упруго-вязких механореологических моделей [3,4]. Пластическую составляющую также можно приближенно принимать пропорциональной действующей силе [6,7]. Разгрузка материала может описываться законом линейной упругости [6].

На основе уравнений Лагранжа были получены дифференциальные уравнения, описывающие контактное взаимодействие частицы с виброорганом в нормальном направлении:

$$m_1 \ddot{y}_1 + C_Y (\dot{y}_1 - \dot{y}_2) + K_{Y1} (y_1 - y_2) = \\ = -m_1 g - m_1 \ddot{y}'$$

$$m_2 \ddot{y}_2 + K_{Y2} y_2 + P_Y \dot{y}_2 + C_Y (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + \\ + K_{Y1} (y_2 - y_1) = -m_2 g - m_2 \ddot{y}' + F_{st},$$

где $y_1, y_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2, \ddot{y}_1, \ddot{y}_2$ - ускорение, скорость и перемещение m_1 и m_2

относительно виброоргана в нормальном направлении; \ddot{y}' - ускорение виброоргана в нормальном направлении.

Разработанная математическая модель позволяет исследовать влияние упругих, вязких (диссипативных) и пластических свойств материала на динамику ударного взаимодействия частицы материала с виброорганом сепаратора. Для решения системы уравнений целесообразно использовать численный метод Рунге-Кутта.

При необходимости можно аналогичным образом построить математическую модель движения частиц материала в направлении, параллельном рабочей поверхности виброоргана.

Практическое применение разработанной модели имеет целью дальнейшее развитие теории моделирования вибрационных процессов при решении различных исследовательских задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анахин В.Д., Плисс Д.А., Монахов В.Н. Вибрационные сепараторы. – М.: Недра.- 1991. – 157 с.
2. Анахин В.Д., Плисс Д.А. К теории выбросепараторов. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та. – 1992. – 125 с.
3. Лапшин В.Л., Байгородин Б.А. Аналитическое моделирование процесса разделения руд на виброреке. – Иркутск: Изд-во Иркутск. гос. техн. ун-та. - 1997. – 119 с.
4. Вибрации в технике: Справочник. - Т.4. Вибрационные процессы и машины / Под ред. Э.Э.Павенделя.- М.: Машиностроение. - 1981.- 509 с.
5. Лапшин В.Л., Демаков Е.И. Упруго-вязко-пластичная механореологическая модель для оценки упруго-вязких свойств минералов при моделировании процессов выбросепарации. Механики XXI веку. VI Всероссийская научн.-техн. конф. с международным участием: Сб. докладов. – Братск: ГОУ ВПО БрГУ. – 2007. – С.67 - 71.
6. Батуев Г.С., Голубков Ю.В., Ефремов А.К., Федосов А.А. Инженерные методы исследования ударных процессов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 240 с.
7. Кильчевский Н.А. Динамическое контактное сжатие твердых тел. Удар. – Киев: Наукова думка. – 1976. – 319 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Лапшин В.Л. – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой сопротивления материалов,
Демаков Е.И. – аспирант,
ГОУ ВПО «Иркутский государственный технический университет», г. Иркутск.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 22 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.М. Авдохин

