

ности грохочения следует принять линейную модель, указанную выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Надутый В.П. Разработка математической модели вибрационного грохота // Геотехническая механика. -Днепропетровск. -1998. -Вып. № 4. -С. 109-114.
2. Потураев В.Н., Надутый В.П., Эрперт А.М. Разработка математической модели дробильно-сортировочных комплексов для компьютерного анализа их работы // Геотехническая механика. Институт геотехнической механики НАН Украины. -Днепропетровск. -1998. -Вып. № 6. -С. 14-24.
3. Надутый В.П., Эрперт А.М. Разработка модельных представлений дробилок и вибрационных грохотов, работающих в едином технологическом цикле // Вибрация в технике и технологиях. – Винница. –1998. –Вып. 4(8). –С. 52-53.
4. Надутый В.П. Исследование влияния режимных и конструктивных параметров на технологические показатели виброгрохотов с резиновыми ленточно-струнными ситами // Труды II Международного симпозиума по механике эластомеров, июнь 1997 г. Днепропетровск. –1997. –Т. 1. –С. 314-324.

УДК 622.693.23

В.А. Ленда

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРООБРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В БУНКЕРАХ

Розглянуто питання підвищення ефективності вібропорушення матеріалів у бункерах за рахунок використання комбінованого режиму, що складається з низькочастотного та високочастотного навантаження

Вибрационные способы обрушения сыпучих материалов в бункерах имеют широкое применение в технологических схемах добычи и переработки минерального сырья. Особое значение они приобретают при работе с липкими и слеживающимися материалами, особенно в условиях отрицательных температур. При уплотнении и смерзании складированных материалов резко снижается эффективность технологических операций по обеспечению равномерной подачи сырья, что приводит не только к ухудшению качества производимой продукции в технологиях, где особенно важно равномерное дозирование компонентов, но и срыву всего технологического процесса.

В настоящее время рассмотрено и используется большое количество конструктивных и технологических схем применения вибрационных систем для управления процессами обрушения и дозирования материала в технологических бункерах [1]. В связи с этим основным направлением повышения эффективности вибрационного воздействия является оптимизация параметров динамического нагружения материала в бункере. При этом в настоящее время в этой области существуют две основные тенденции, связанные с использованием высокочастотных нагружений, генерируемых ударным воздействием, и низкочастотное моногармоническое нагружение, реализуемое дебалансными мотор-вибраторами.

Техническое осуществление первого направления проводится с использованием электромагнитных или индуктивных ударных систем [2], осуществ-

ляющих краткосрочное ударное воздействие на стенку бункера, генерирующее высокочастотное полигармоническое нагружение материала расположенного в бункере с основной частотой 500-1000 Гц. Для реализации второго направления используются стандартные мотор-вибраторы, обеспечивающие нагружение с частотой 25-50 Гц [3]. При этом высокочастотное динамическое нагружение обеспечивает существенное снижение коэффициента трения складываемого материала о стенку бункера, однако при значительных размерах бункера не оказывает существенного влияния на материал, расположенный в центральной части бункера, вследствие интенсивного затухания динамических напряжений при распространении в упруго-пластичной сыпучей среде. Низкочастотное моногармоническое воздействие обеспечивает более равномерное нагружение материала по всему объему бункера, однако существенно уступает высокочастотному нагружению по уровню реализуемых в приконтурной зоне динамических напряжений.

Для обоснования рациональных значений динамических параметров виброобрушения в технологических бункерах, рассмотрим качественный характер истечения материала из бункера и формирование его структурно-прочностного состояния, приводящего к затруднению или прерыванию процесса истечения.

Как известно [4], подавляющее большинство материалов, перерабатываемых в горнорудной промышленности, в зависимости от степени влажности, времени хранения и т.п. реализуют смешанный или гидравлический характер истечения. В первом случае материал в процессе своего истечения через выпускное отверстие в бункере образует канал и течет по этому каналу, тогда как остальная масса вокруг него остается неподвижной. По мере выхода материала в бункере остается кратер в неподвижной массе сыпучего. В том случае, когда сыпучее совершенно не обладает сцеплением, угол наклона образующих поверхности кратера равен углу естественного откоса. При наличии сцепления в материале и со стенками бункера зависающий массив приобретает форму конуса, прилегающего к стенкам бункера. При этом высота образующей конуса составляет 1,5-2 ширины бункера. Это явление называется трубообразованием и не прерывает процесс истечения материала из бункера, однако существенно уменьшает его полезную емкость.

Основной причиной трубообразования считается уплотнение материала, возникающее при движении его по сужающемуся каналу. При этом плотность материала определяет его прочность на сдвиг, и при смешанном истечении будет определяться текущими значениями давления в материале и величинами касательных напряжений, определяемых из соотношений

$$\sigma = \frac{h\gamma \operatorname{tg} \beta}{f_1 + \operatorname{tg} \beta}; \quad (1)$$

$$\tau = \sigma f_1 \frac{2x}{b}, \quad (2)$$

где h – высота слоя материала; γ – плотность материала; f_1 – коэффициент трения материала; β – угол наклона стенки бункера; b – ширина бункера; x – теку-

шая горизонтальная координата.

При гидравлическом характере истечения материала можно рассматривать послойное его движение [2], при этом уплотнение, вызванное сужением канала движения материала, также приводит к его уплотнению в областях, прилегающих к стенкам бункера. Размер уплотненной зоны материала в процессе его движения к выпускному отверстию, при допущении о последовательном характере уплотнения слоя, определяется из условия

$$\ell_{yn} = \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} W, \quad (3)$$

где W – удельная пористость материала.

Увеличение размеров застойных зон, примыкающих к стенкам бункера, уменьшает проходное сечение бункера и облегчает формирование свода. При этом критический размер поперечного сечения, определяемый из условия равновесия вышележащего материала, определяется из условия

$$d = \frac{4\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\gamma}, \quad (4)$$

где φ – угол внутреннего трения в складываемом материале.

Как видно из представленных соотношений, в общем случае истечения материала из бункера действует механизм формирования структурного уплотнения складываемого материала, приводящего к образованию застойных зон вдоль стенок бункера. Увеличение размера этих зон, определяемого коэффициентами контактного и внутреннего трения складываемого материала, приводит к полному перекрытию сечения бункера, т.е. образованию свода.

Очевидно, что эффективность вибрационного воздействия с целью предотвращения и устранения зависания материала в технологических бункерах определяется способностью его изменять физико-механические характеристики материала непосредственно в зонах трубообразования и формирования свода. При этом высокочастотное нагружение, реализуемое посредством ударного воздействия, обеспечивает интенсивное снижение трения материала о стенку бункера и определяет его перемещение к выпускному отверстию. Однако при наличии сформированного свода такое движение тормозится силами бокового распора, что приводит к существенному снижению эффективности воздействия. При этом снижение подвижности материала увеличивает срок реализации вибрационного воздействия, что приводит к дополнительному уплотнению материала в пристеночной зоне бункера и ухудшению его характеристик, определяющих параметры истечения.

Низкочастотное нагружение позволяет эффективно воздействовать на весь материал в бункере, обеспечивая эффективное обрушение свода. Однако ограничения по прочности бункеров и сооружений не позволяют обеспечивать высокие уровни ускорений, что ограничивает эффективность применения способа, особенно при липком и смерзшемся материале. В связи с этим при низкой транспортирующей способности низкочастотного воздействия, происходят незначительные по объему обрушения свода, что приводит к необходимости уве-

личения периодичности включения вибратора.

На основании выполненного анализа можно предположить, что наиболее эффективным видом воздействия, обеспечивающим интенсивное виброобрушение материала в бункере и устранение трубообразования, является комбинированный режим нагружения, состоящий из низкочастотного в диапазоне 25-50 Гц и высокочастотного 500-1000 Гц воздействия. Такое воздействие, реализуя эффективное снижение величины сцепления между материалом и стенкой бункера, обеспечит его транспортирование к выпускному отверстию и разрушение препятствующего этому свода.

Наиболее просто реализовать поличастотный комбинированный режим нагружения можно при помощи вибрационных систем с существенно нелинейными упругими связями, позволяющих за счет подбора характеристик в широком диапазоне регулировать реализуемые динамические параметры.

С целью определения эффективности поличастотного режима нагружения при виброобрушении материала в технологических бункерах были выполнены экспериментальные исследования на аглофабрике Енакиевского металлургического завода.

Исследования проводились на трехсоттонных бункерах, предназначенных для хранения и дозирования железорудного концентрата и известняка. При этом сравнивалась эффективность виброобрушения, реализуемого при помощи моногармонического воздействия с частотой 25 Гц и полигармонического комбинированного нагружения в диапазоне частот 25-1000 Гц, осуществляемого виброприводом с существенно нелинейными упругими связями.

В качестве критериев эффективности виброобрушения материала в бункерах использовались два показателя: время от начала работы вибратора до устранения зависания материала в бункере и периодичность включения вибратора. Первый критерий позволяет оценить эффективность виброобрушения и важен как показатель, влияющий на качество получаемого продукта. Вторым критерием, оценивающим, с одной стороны, качество устранения зависания, с другой – позволяющим оценить нагрузку на вибратор, используемый для виброобрушения материала.

Проведенные исследования показали, что применение комбинированного поличастотного режима нагружения материала, по сравнению с моногармоническим нагружением, позволило существенно, с 5 минут до 1,5...2 минут, сократить время, необходимое для устранения зависания материала в бункере, при этом периодичность включения вибратора (возникновения зависания) сократилась с 5 включений в час до 4.

Таким образом, можно считать, что характер напряженного состояния сыпучего материала в бункере, определяющий формирование его структурно-прочностного состояния, обуславливает целесообразность использования комбинированного поличастотного режима нагружения для предотвращения и устранения зависания. Такой режим нагружения устраняет две основные причины, приводящие к прерыванию и ухудшению истечения материала из бункера, трубообразование и сводообразование, не допускает переуплотнения материала в бункере, устраняя нежелательный эффект вибрационного воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варсонофьев В.Д. Вибрационные бункерные устройства на горных предприятиях. -М.: Недра, 1984. -183 с.
2. Вибрационные машины в строительстве и производстве строительных материалов: Справочник. - М.: Машиностроение, 1980. -257 с.
3. Данилова Э.А. Методы борьбы со сводообразованием. -М.: Машиностроение, 1966. -102 с.
4. Гячев Л.В. Движение материала в трубах и бункерах. -М.: Машиностроение, 1968. -205 с.

УДК 622.778:622.34

В.В. Чельшкіна, О.А. Усов

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ВЫСОКОГРАДИЕНТНОЙ СЕПАРАЦИИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД КРИВБАССА

Викладено світовий та вітчизняний досвід використання способу високоградієнтної магнітної сепарації для збагачення залізних руд. Позначені основні проблеми, які свідчать, про необхідність подальших робіт, зокрема, науково-дослідних, у цьому напрямку.

Среди технологий обогащения окисленных и смешанных руд, а также доработки продуктов обогащения железных руд по распространенности на втором месте после флотации находится высокоинтенсивная или высокоградиентная магнитная сепарация. В мировой практике этим методом наиболее часто дорабатывают гравитационный концентрат окисленных руд. Причем эти руды, преимущественно крупно вкрапленные и слабошламуемые, которых практически нет в Кривбассе.

Окисленные кварциты являются слабомагнитными и поэтому для их обогащения обычные магнитные сепараторы, применяемые для магнетитовых кварцитов, непригодны. Для развития технологии мокрого магнитного обогащения пришлось разработать новые сепараторы, принцип работы которых заключается в дренировании пульпы через слой сильно намагниченных шаров или тел другой формы. Метод полиградиентной сепарации основан на использовании эффекта увеличения градиента напряженности магнитного поля при перераспределении магнитного потока, создаваемого электромагнитной системой или системой из постоянных магнитов в слое ферромагнитных тел (полиградиентной среде), помещенных в рабочую зону сепараторов. Впервые сепаратор для слабомагнитных материалов, использующий в качестве феррозамениителя рифленые пластины, был предложен Д.Х. Джонсом [1]. В Советском Союзе еще в 1942г было выдано авторское свидетельство на «Электромагнитный фильтр» В. Г. Деркача и И. С. Дацюка, который представляет собой горизонтально- роторный сепаратор с перераспределением потока в межполюсном зазоре с помощью различной полиградиентной среды и транспортировкой водой или сжатым воздухом [2]. Изготовление сепаратора Джонса роторного типа ДР-317, а также двухроторного (диаметр ротора от 900 до 3350 мм) освоено