

КЛЯГИН Г.С., РОСТОВСКИЙ В.И., КРАВЧЕНКО А.В. (ДОНГТУ)

РАЗРАБОТКА УВЛАЖНИТЕЛЕЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЫЛЕЙ И ПОРОШКОВ

Разработаны установка и технологическая схема для организации беспыльной выгрузки технологических и аспирационных пылей. Они позволяют использовать для увлажнения пылей сгущенные шламы и получать при этом сыпучий непылящий продукт с заданной конечной влажностью и комкуемостью. Разработана методика расчета вибрационных смесителей-увлажнителей на требуемую производительность.

Интересы современной экологической безопасности в базовых отраслях промышленности Украины требуют коренного изменения подхода к проблеме организации малоотходных технологических процессов и комплексной переработке образующихся отходов. Современное производство потребляет значительное количество минеральных ресурсов и одновременно неизбежно сопровождается образованием твердых, жидких и газообразных отходов, которые в большинстве случаев безвозвратно теряются и загрязняют окружающую среду, а минеральные ресурсы используются нерационально.

Разработка технологических процессов и оборудования по улавливанию, обезвреживанию, подготовке и комплексной переработке этих отходов позволит организовать малоотходное и безотходное производство, рационально использовать минеральные природные ресурсы и оздоровить окружающую природную среду.

В металлургическом производстве, как и в других отраслях промышленности, широко применяют различные по составу линии уборки и подготовки технологических и аспирационных пылей, уловленных в мокрых и сухих газоочистных устройствах. Основное назначение указанных линий — это получение продукта с влажностью 8–15%, который затем транспортируется в агрегаты утилизации или на складирование. Газоотводящие тракты с использованием сухих газоочисток более эффективны и дешевы в эксплуатации по сравнению с мокрыми газоочистными установками. Но на многих металлургических предприятиях с сухими газоочистными аппаратами уловленную пыль из-за отсутствия необходимого оборудования с помощью гидросмыва превращают в шлам. Затем его совместно со шламом из мокрых газоочистных аппаратов и шламом от гидросмыва производственных помещений транспортируют в шламонакопители или обезвоживают в соответствующих корпусах обезвоживания шламов до получения транспортабельного продукта с заданной влажностью. Недостатком таких линий являются большие капитальные затраты, низкая эксплуатационная надежность оборудования, необходимость организации оборотного цикла водоснабжения цехов или предприятия в целом, повышенный расход воды, большие затраты на содержание шламонакопителей и неполное использование шламов.

На металлургических предприятиях, где очистка газов осуществляется в сухих газоочистках, уловленная пыль, пригодная для переработки, часто вывозится на свалки или отгружается на аглофабрику, вызывая сильное вторичное пыление при промежуточных перегрузках в железнодорожные вагоны и при выгрузке ее на рудном дворе, где используется как сырье для производства агломерата. Отсутствие в линии уборки и транспортировки пыли аппарата для увлажнения пыли приводит к значительным пылевыведениям в окружающую среду и к усложнению технологии утилизации пылящего продукта. Некоторое увлажнение и перемешивание пыли в этом случае осуществляется в технологической цепи аппаратов аглофабрики. Это нарушает технологию окускования железорудных материалов и ухудшает санитарные условия труда.

Прогрессивная и дешевая технология сухой очистки газов от пыли в металлургии мало используется из-за низкой работоспособности оборудования для подготовки улавливаемых продуктов. Для подготовки сухих отходов и получения сыпучего непылящего продукта с заданной влажностью в основном используют специальные механические смесители (барабанные, винтовые, лопастные). Существенными недостатками таких линий являются: большая масса установленного оборудования, быстрый его износ, значительные энергозатраты, низкая эксплуатационная надежность и вторичное пыление при перегрузках и транспортировке.

На кафедре руднотермических процессов и малоотходных технологий физико-металлургического факультета ДонГТУ выполнили комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок по улавливанию, подготовке и утилизации вторичных ресурсов, различного агрегатного состояния. Многие разработки используются на металлургических предприятиях Украины, а также на зарубежных предприятиях.

Тонкодисперсные технологические и аспирационные пыли после термической обработки плохо увлажняются, что отрицательно влияет на последующий процесс окомкования шихты. Это подтверждается проведенными исследованиями кинетики капиллярного всасывания воды железосодержащими отходами. Кривые кинетики капиллярного всасывания воды слоем сыпучего материала имеют вид парабол. Они показывают на быстрый подъем воды в начале опыта с последующим замедлением процесса, который может длиться долго. По этой причине, для снижения отрицательного влияния на процесс окомкования аглошихт повышенного количества высокодисперсных отходов необходимо предусматривать предварительное увлажнение пылей перед их окомкованием.

Трудности, связанные с беспыльной разгрузкой, доставкой пыли к месту использования, самим процессом утилизации заставляют находить новые конструктивные решения. Одним из направлений улучшения увлажнения гидрофобных высокодисперсных металлургических пылей является использование интенсифицирующего действия вибрации. Используя эту идею, была поставлена задача по разработке технологии увлажнения и конструкции вибрационного увлажнителя, с помощью которого можно было бы получать непылящий, однородный сыпучий продукт с заданной влажностью. Нами было разработано несколько различных конструкций смесителей-увлажнителей пыли вибрационного типа. Первыми были разработаны и опробованы смесители с подвижной стержневой насадкой, принцип действия которых основан на механическом разрушении комочков, образующихся при смешивании известковой пыли шлама. Опробование данной конструкции показало, что подвод шлама к смесителю ненадежен. При низких значениях расхода шлам подается к форсункам с низким, чем требуется давлением, что приводит к быстрому зашламлению форсунок. Силы сцепления между шлагоизвестковой смесью и поверхностью насадки таковы, что энергии удара насадки об опору недостаточно для полной очистки поверхности. По этой причине периодически требовалось снижать производительность смесителя для прочистки, что снижало эффективность процесса смешивания.

Так как смеситель предназначен для получения первичной смеси с влажностью не более 25%, было предложено сделать новую, более простую конструкцию смесителя, лабиринтную без свободно уложенной подвижной насадки. Вода из форсунок попадает на наклонные полки и образует на верхней полке тонкую пленку, на которую подается сухая пыль. Благодаря колебаниям корпуса и полок пылинки интенсивно «вбиваются» в виброкипящий слой влаги, т.е. происходит первый этап увлажнения пыли. Пересыпаясь с полки на полку, расположенные каскадом, смесь сухой пыли, влаги и комочков увлажненной пыли перемешивается. Комочки при этом постоянно разрушаются и вновь образуются, соединяясь с частицами еще не увлажненного материала. Дополнительная вода подается на поток материала с помощью распылительных форсунок.

На качество увлажнения и смешивания пыли в значительной степени влияют наклон и форма сечения корпуса. Смесители с круглым сечением не могли обеспечить качественное увлажнение материала при увеличении производительности. Для достижения этой цели корпус, в плоскости сечения полок, был выполнен ромбовидным.

Методика расчета вибрационного смесителя-увлажнителя разрабатывалась, используя законы движения частицы при воздействии на нее вибрации.

Движение вибрирующей поверхности с находящимся на ней сыпучим материалом относительно неподвижной системы координат (в случае использования гармонических колебаний) описывается уравнениями:

$$\ddot{x} = A\omega^2 \cos\beta \cdot \sin\omega t;$$

$$\ddot{y} = A\omega^2 \sin\beta \cdot \sin\omega t,$$

где A — амплитуда колебаний; β — угол между направлением вибрации и вибрирующей плоскостью; ω — частота колебаний.

В условно неподвижной среде (рис.1):

$$m \cdot \ddot{x} = m \cdot A\omega^2 \cos\beta \cdot \sin\omega t - mg \sin\alpha + F_{\text{тр}};$$

$$m \cdot \ddot{y} = m \cdot A\omega^2 \sin\beta \cdot \sin\omega t - mg \cos\alpha + N.$$

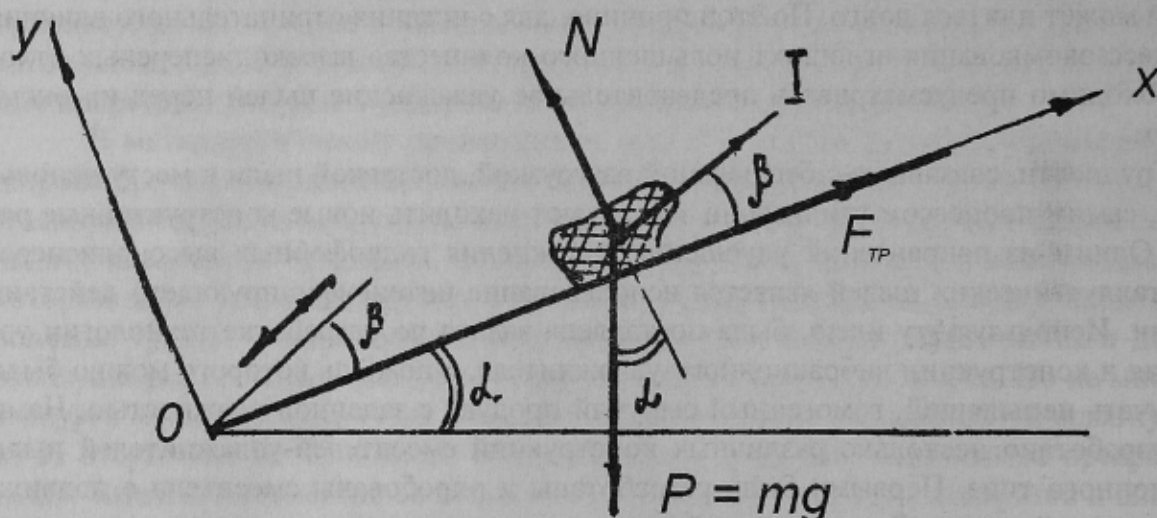


Рис. 1. Расчетная схема с направленными колебаниями

Если частица не отрывается от вибрирующей поверхности, $y=0$.

Тогда:

$$N = mg \cos\alpha - m \cdot A\omega^2 \sin\beta \cdot \sin\omega t.$$

Частица отрывается от поверхности, когда нормальная реакция $N=0$.

Тогда:

$$A_{\text{кр}} \omega_{\text{кр}}^2 = \frac{g}{\sin\omega t} \frac{\cos\alpha}{\sin\beta},$$

где $A_{\text{кр}}$ и $\omega_{\text{кр}}$ — критические значения A и ω .

Минимальное критическое ускорение вибрации поверхности, при котором произойдет отрыв частицы, будет при $\sin\omega t = \pm 1$, т.е. при фазовых углах 90 и 270° .

В эти моменты относительное критическое ускорение вибрации равно:

$$(A_{\text{кр}} \omega_{\text{кр}}^2 \sin\beta) / g \cdot \cos\alpha = \pm 1.$$

Для частицы, лежащей на вертикально вибрирующей горизонтальной поверхности, последнее выражение принимает вид:

$$A_{кр} \omega_{кр}^2 / g = \pm 1.$$

Как видно, для сыпучих материалов, подвергаемых только вибрационному воздействию, переход слоя из состояния виброожижения к виброкипению зависит не от массы частиц, а от ускорения вибрации ($A\omega^2$) поверхности, на которой находится материал. На рис. 2 приведена схема соотношения зон виброожижения и виброкипения. На схеме приняты следующие обозначения: *A* — виброожиженный слой; *B* — виброкипящий слой; зона I — слой разрыхляется, но наблюдается сепарация частиц разного размера и удельной массы; зона II — сепарация прекращается и наступает интенсивное перемешивание ($f \approx 12-50$ Гц, при ускорении вибрации 2). Переходная область между зонами *A* и *B* является областью наиболее плотной укладки материала.

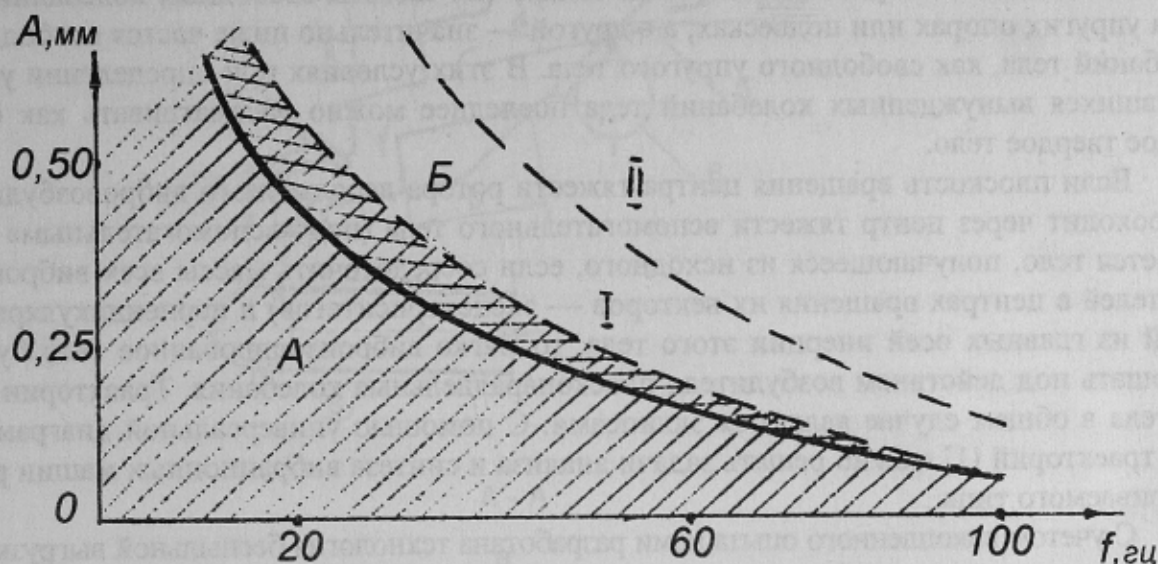


Рис. 2. Схема зон виброувлажнения и виброкипения

В случае направленного перемещения сыпучего материала по наклонному лотку виброкипящий слой создается при:

$$(A_{кр} \omega_{кр}^2 \sin \beta) / g \cdot \cos \alpha = k \geq 1, (1,2 < k < 5).$$

Работа с большими значениями *k* неблагоприятно отражается на долговечности привода и установки. Частота выше 50 Гц вызывает повышение шума. Для снижения чрезмерных величин *A* нижний предел вибрации обычно равен 5 Гц. Эти выражения не учитывают влияния среды, высоты слоя и дисперсности материала. Как показывают исследования, относительное ускорение вибрации по высоте виброкипящего слоя убывает по экспоненциальному закону.

Образование виброкипящего слоя при круговой траектории колебаний рабочей камеры аппарата имеет свои особенности. При переходе ускорения за критическое материал отрывается от вибрирующей поверхности, слой переходит в состояние виброкипения. В состоянии виброкипения частицы подсакивают, сталкиваются друг с другом и совершают отраженные броски, вращаются и соударяются со стенкой камеры. Весь слой материала может совершать циркуляционное перемещение внутри камеры.

Рассматривая образование виброкипящего слоя в таком аппарате, условие отрыва от поверхности рабочей камеры без учета свойств материала можно записать в виде:

$$m_1 g < m_2 A \omega^2 \sin \varphi,$$

где m_1 — масса материала; m_2 — масса аппарата и дебалансов вибратора; φ — угол «выбрасывания» массы материала (рис.3).

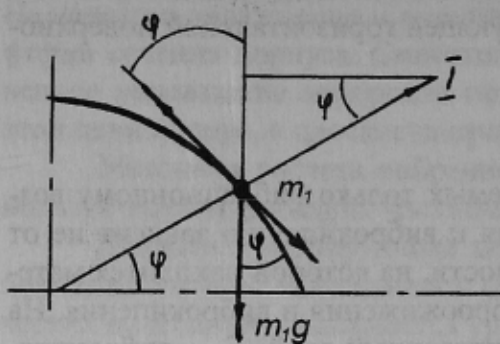


Рис. 3. Расчетная схема с круговыми колебаниями

ванное твердое тело» означает, что частоты вращения установленных на нем вибровозбудителей, с одной стороны, значительно выше, чем частоты свободных колебаний тела на упругих опорах или подвесках, а с другой — значительно ниже частот свободных колебаний тела, как свободного упругого тела. В этих условиях при определении установившихся вынужденных колебаний тела последнее можно рассматривать как свободное твердое тело.

Если плоскость вращения центра тяжести ротора дебалансного вибровозбудителя проходит через центр тяжести вспомогательного тела (под «вспомогательным» понимается тело, получающееся из исходного, если сосредоточить массы всех вибровозбудителей в центрах вращения их векторов — эксцентриситетов) и перпендикулярна к одной из главных осей инерции этого тела, то мягко виброизолированное тело будет совершать под действием возбудителя плоскопараллельные колебания. Траектории точек тела в общем случае являются эллипсами. С помощью универсальной диаграммы поля траекторий [1] можно решать задачи анализа и синтеза вибрационных машин рассматриваемого типа.

С учетом накопленного опыта нами разработана технология беспыльной выгрузки и смешивания сухих мелкодисперсных материалов с одновременным их окомкованием (озернением). Предлагаемая технология заключается в сборе уловленной пыли в пылесборных бункерах системы очистки газа (воздуха), транспортировке ее в сухом виде в накопительные бункера с помощью пневмотранспорта или механическими конвейерами и дозированной выдаче ее из накопительных бункеров с одновременным увлажнением до 7–12% при помощи вибрационных смесителей-увлажнителей.

Данная технология и оборудование позволяют осуществлять беспыльную выгрузку из накопительных бункеров различных пылей или порошков с широким диапазоном физико-химических свойств, в том числе плохо смачиваемых полидисперсных крупностью от долей микрометра до 0,1–1,0 мм. Ключевой установкой в системе оборудования для уборки и подготовки пылей является разработанный в ДонГТУ специальный вибрационный смеситель-увлажнитель сухих пылей и порошков, позволяющий получать непылящий, однородный, сыпучий продукт с заданной влажностью или окомкованный до крупности 3–15 мм. Параметры установки изменяются в зависимости от свойств пылей и требований к конечному продукту. Производительность установки составляет до 50 т/час, мощность вибродвигателя до 1,5 кВт. Габариты до 1,2×1,5×1,0 м (с несущей рамой). Масса установки 300–500 кг в зависимости от производительности.

В качестве увлажняющего и связующего агента могут применяться технические и шламовые воды, а также специальные растворы и суспензии. Схема виброувлажнителя приведена на рис. 4. Сухой сыпучий шихтовый материал, поступающий по конвейеру 7, загружается через приемную воронку в корпус 3 смесителя-увлажнителя. Сюда же по гибким шлангам через сопла 5 подается увлажняющий агент (техническая вода, сгущенная пульпа шлама) чтобы на направляющих полках 4 образовался слой до 3 мм при выключенном вибраторе 6.

Отрыв слоя в каждой из точек поверхности рабочей камеры аппарата происходит в разное время периода его колебаний, а угол «выбрасывания» зависит от ускорения вибрации. Исследования Д.Бахмана дают зависимость:

$$\varphi = \varphi_0 + k_1 e^{-k_2 \cdot A \cdot \omega^2},$$

где опытные коэффициенты $\varphi_0=7^\circ$, $k_1=83^\circ$ и $k_2=0,057$.

Примем, что конструкция вибросмесителя является мягким виброизолированным твердым телом [1]. Здесь и ниже термин «мягко виброизолированное твердое тело» означает, что частоты вращения установленных на нем вибровозбудителей, с одной стороны, значительно выше, чем частоты свободных колебаний тела на упругих опорах или подвесках, а с другой — значительно ниже частот свободных колебаний тела, как свободного упругого тела. В этих условиях при определении установившихся вынужденных колебаний тела последнее можно рассматривать как свободное твердое тело.

При включенном вибраторе 6 корпус 3 смесителя-увлажнителя совершает круговые колебания в вертикальной плоскости с частотой около 25 Гц благодаря подвеске на гибких пружинных амортизаторах 2. Рама 1 установлена на жестком основании.

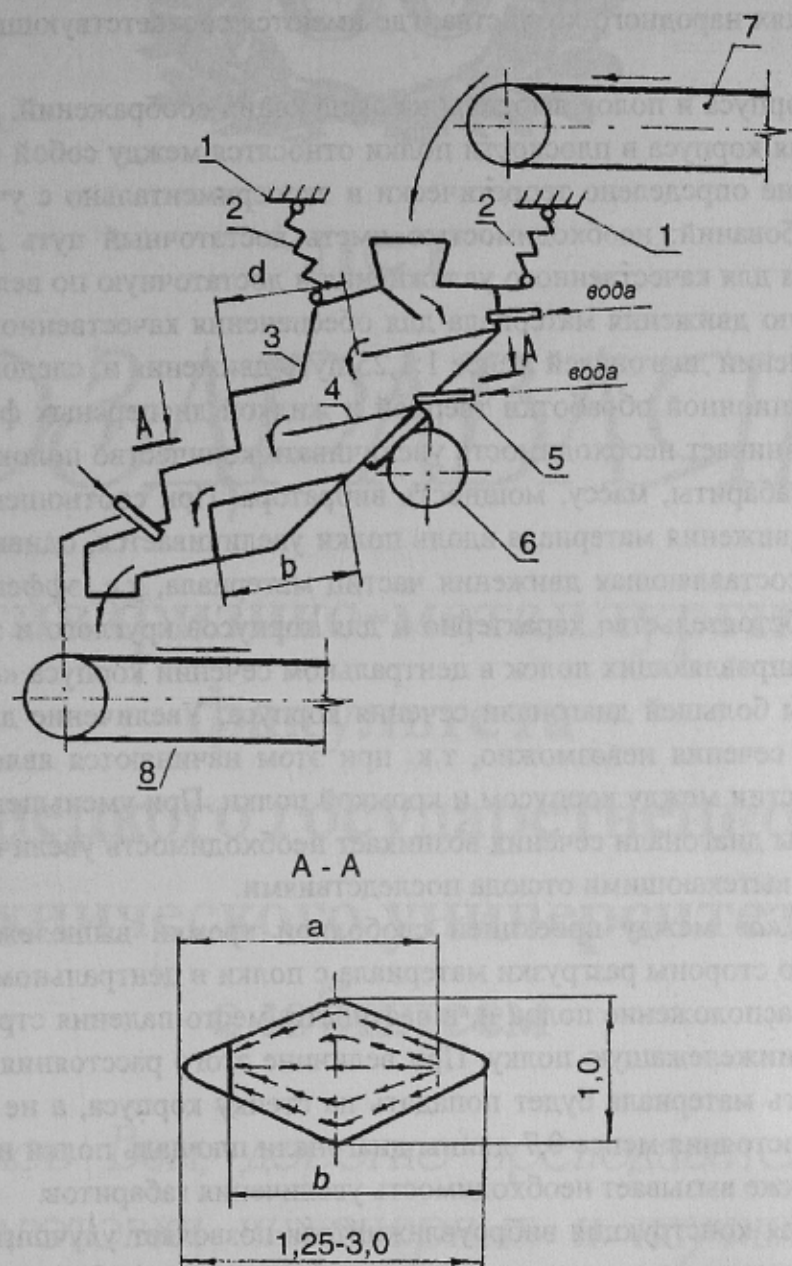


Рис 4. Схема устройства для смешивания и увлажнения дисперсных материалов

Жидкая и твердая дисперсные фазы контактируют между собой на направляющих полках. Твердые частицы материала на полке совершают сложное движение: подбрасываются вибрирующим основанием, перемещаются вдоль полки, одновременно участвуя в поперечных перемещениях от продольной оси полки к боковым стенкам корпуса и обратно. На участках полок у оси корпуса толщина слоя материала становится минимальной, что способствует повышению интенсивности увлажнения. Передвигаясь с вышележащей полки на нижележащую, материал увлажняется, частично окомковывается и перемешивается. Объемы окомкованной части материала, сухой пыли и не усвоенной материалом влаги, попадая на нижележащую полку, разрушаются, и происходит их взаимное внедрение. Разрушаемые комочки впитывают часть не усвоенной влаги, усваивают на своей поверхности часть неувлажненной пыли, окомковываются, перемешиваются, при переходе на нижележащую полку снова разрушаются и т. д.

На выходе из смесителя-увлажнителя получают гомогенный сыпучий не пылящий продукт влажностью 6–12%, который может быть использован в агломерационном производстве в качестве компонента аглошихты. Готовая смесь транспортируется конвейером 8 на дальнейшую подготовку. Такие установки могут быть использованы в различных отраслях народного хозяйства, где имеются соответствующие газоочистные установки.

Размеры корпуса и полок выбраны из следующих соображений. Диагонали ромбовидного сечения корпуса в плоскости полки относятся между собой как 1:(1,25–3,0). Такое соотношение определено теоретически и экспериментально с учетом двух противоречивых требований: необходимостью иметь достаточный путь движения материала вдоль полки для качественного увлажнения и достаточную по величине поперечную составляющую движения материала для обеспечения качественного перемешивания. При соотношении диагоналей менее 1:1,25 путь движения и, следовательно, время совместной вибрационной обработки твердой и жидкой дисперсных фаз уменьшается настолько, что возникает необходимость увеличивать количество полок в корпусе. Это увеличивает его габариты, массу, мощность вибратора. При соотношении диагоналей более 1:3,0 путь движения материала вдоль полки увеличивается, однако резко снижается поперечная составляющая движения частиц материала, т.е. эффект перемешивания. Последнее обстоятельство характерно и для корпусов круглого и эллиптического сечений. Длина направляющих полок в центральном сечении корпуса «*b*» принята равной 0,7–0,9 длины большей диагонали сечения корпуса, Увеличение длины более 0,9 длины диагонали сечения невозможно, т.к. при этом начинаются явления кострения материала в отверстиях между корпусом и кромкой полки. При уменьшении длины полки менее 0,7 длины диагонали сечения возникает необходимость увеличения количества полок со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Расстояние «*a*» между проекцией свободной кромки вышележащей полки и стенкой корпуса со стороны разгрузки материала с полки в центральном сечении определяет взаимное расположение полок и, в частности, место падения струи материала с вышележащей на нижележащую полку. При величине этого расстояния более 0,9 длины диагонали часть материала будет попадать на стенку корпуса, а не на полку. При величине этого расстояния менее 0,7 длины диагонали площадь полки используется не полностью, что также вызывает необходимость увеличения габаритов.

Предлагаемая конструкция виброувлажнителя позволяет улучшить качество увлажнения и смешивания плохо смачиваемых, особенно гидрофобных пылей и порошков в 5–10 раз по сравнению с известными решениями. Положительный технический эффект от внедрения данного устройства на металлургических предприятиях получается за счет исключения ныне действующего гидросмыва уловленной пыли и последующей стадии обезвоживания шлама перед его утилизацией. Значительно улучшается экологическая обстановка при переработке пылей и порошков.

Список литературы

1. Блехман И.И., Жгулев А.С. К расчету вибрационных машин с внецентренно расположенным дебалансным возбудителем // Обогащение руд, 1974. — № 2. — С. 36–39.

© Клягин Г.С., Ростовский В.И., Кравченко А.В., 2001