

УДК 622.868:621.926.22

В.П. ФРАНЧУК, докт. техн. наук,

А.И. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук,

В.А. ФЕДОСКИН, канд. техн. наук,

Д.С. ХАДДАД, канд. техн. наук

ВИБРАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СУШКИ УГЛЯ

Запропоновано конструкцію й наведені принципи розрахунку вібраційної сушильної установки для дрібних класів вугілля. Показано переваги даної установки в порівнянні із традиційними сушарками.

Ключові слова: вугілля, сушіння, вібраційна сушильна установка.

Предложена конструкция и приведены принципы расчета вибрационной сушильной установки для мелких классов угля. Показаны преимущества данной установки по сравнению с традиционными сушилками.

Ключевые слова: уголь, сушка, вибрационная сушильная установка.

Сушка мелких классов угля после мокрого обогащения является важной технологической операцией, особенно в зимний период. Слабое использование этой операции на обогатительных фабриках связано с громоздкостью сушильного оборудования, высокой энергоемкостью процесса. Поэтому снижение энергоемкости процесса сушки является важной задачей.

Существует достаточно большое разнообразие конструкций сушильных установок, однако наибольшее распространение получили барабанные сушилки, работающие при непосредственном контакте материала с теплоносителем. Этому способствует простота и прозрачность для понимания конструктивной схемы, многолетний опыт производства и эксплуатации привел к высокой степени совершенства конструкции, имеются заводы-изготовители. В то же время эти агрегаты отличаются громоздкостью

конструкции, значительной металлоемкостью, большим объемом занимаемых производственных помещений, налипанием влажного материала на внутренней поверхности барабана и т.п. Все это значительно снижает эффективность применения такого типа сушилок.

Не вдаваясь в подробности конструктивных схем сушилок, приведем только сравнение их технологических показателей.

В табл. 1 приведены сравнительные технические данные наиболее распространенных видов сушильного оборудования [1].

Таблица 1

Типы сушилок	Время сушки, мин.	Потребл. мощность, кДж/кг	Удельный расход тепла, Вт/кг	Удельный влагосъем кг/м ³	Объем камеры (м ³) на 1 кг высушенного материала
Барабанные	20	2,21	10475	0,66	30×10 ⁻³
Шахтные	20...30	2,05	8380	1,0	20×10 ⁻³
Турбинные	30...60	1,25	6285	0,77	26×10 ⁻³
Вибрационные	4...6	1,77	4818	2,66	7,5×10 ⁻³

Из таблицы следует, что наименее энергоемкой является вибрационная сушильная установка.

В Национальном горном университете разработана конструкция и проведены опытно – промышленные испытания сушильной установки с использованием вибрационного конвейера специальной конструкции в качестве исполнительного органа. В качестве теплоносителя могут быть использованы подогретый воздух, отходящие газы горелок или топок. Следует отметить, что такие важные для сушки параметры, как температура сушки, количество сушильного агента, время пребывания материала в зоне сушки (скорость перемещения материала) для рассматриваемого агрегата являются регулируемыми в зависимости от влажности и вида исходного продукта.

Технологическая схема вибрационной сушильной установки (рис. 1)

состоит из вибрационного конвейера специальной конструкции 1, теплогенератора 2, шлюзовых затворов 3, вентилятора для отсоса отходящих газов 5 с батареей циклонов 4.

Исходный продукт через шлюз поступает в загрузочную секцию конвейера и в процессе вибрационного перемещения подвергается нагреву при контакте с нагретой поверхностью, при омывании его горячим теплоносителем и за счет инфракрасного излучения корпуса. Теплоноситель с испаренной влагой и пылевидными частицами материала поступает в батарею циклонов, после отделения твердых частиц выбрасывается в атмосферу.

Наиболее ответственным узлом, от которого зависит эффективность работы установки, является виброконвейер. На рис. 2 представлена конструктивная схема виброконвейера сушильной установки [1]. При разработке конструкции решались следующие задачи: обеспечение совмещения сушки материала конвективным и кондуктивным методами; обеспечение эффективной продувки теплоносителя сквозь слой материала; изоляция вибровозбудителя от теплового воздействия; обеспечение жесткости рабочей камеры вне зависимости от теплового воздействия.

Виброконвейер состоит из загрузочной 1, рабочей 2, разгрузочной 3 камер, рамы 4, вибровозбудителя 5, компенсирующих рессор 6 и упругих элементов 7.

Рабочая камера представляет собой набор равных по величине секций, жестко соединенных между собой. Каждая секция разделена газораспределительной решеткой 8 на две части: верхнюю для транспортировки материала, нижнюю для подачи теплоносителя. Две центральные секции посредством кронштейна 9 жестко соединены с рамой. Такое закрепление камеры обеспечивает её равномерное расширение от средней части в обе стороны на одинаковую величину. При этом суммарная величина расширения рабочей камеры остается неизменной, а величина смещения загрузочной и разгрузочной камер уменьшается в два раза. Кроме

жесткого крепления в средней части каждая секция связана с рамой компенсирующими рессорами 9. В процессе температурного расширения камеры рессоры изгибаются, сохраняя конструкцию в работоспособном состоянии.

В рассматриваемой конструкции вибровозбудитель 10 жестко соединен с рамой 4, выполненной в виде фермы и расположенной на упругих элементах 11. Установленная внутри рамы рабочая камера находится на значительном расстоянии от рамы и вибровозбудителя, что практически исключает теплопередачу на них и опорные амортизаторы. Кроме того, теплоизолированная рама обеспечивает достаточную жесткость конструкции при нагреве рабочей камеры до высоких температур. Вместе с тем, при определении скорости виброперемещения материала следует учитывать, помимо основных прямолинейных, также и изгибные колебания рабочего органа [2].

По выбранной скорости транспортирования v_{cp} и длине конвейера L (времени сушки t_c), производительности сушилки Q (m^3/c), влажности исходного W_u и конечного W_k продукта, из теплового расчета определяется температура T^oK и количество подаваемого теплоносителя V_m (M^3/c). Далее определяются размеры камер. Гранулометрический состав продукта определяется максимальным D и средневзвешенным d_{cp} размером кусков материала.

Секундная объемная производительность вибросушильной установки

$$V = \frac{Q}{3,6\gamma_n}, \text{ м}^3/\text{с},$$

где γ_n – плотность материала в насыпке, t/m^3 .

По известной скорости витания средневзвешенного куска материала v_s определяем общую площадь щелей вибросушильной установки

Пластины жалюзей рабочей поверхности виброконвейера

характеризуются следующими параметрами: шириной b , длиной B (равной ширине лотка виброконвейера), толщиной пластины δ_n , углом наклона γ , величиной зазора между пластинами h_n , дополнительным участком ширины пластины b_0 , обеспечивающим их перекрытие.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что рациональная область значений угла наклона жалюзей $\gamma_{min} \leq \gamma \leq \gamma_{max}$ находятся в пределах $2 \div 5^\circ$ (в некоторых случаях – до 7°). При этом, в зависимости от типа материала, величина γ может приниматься постоянной, уменьшаться к разгрузочному концу виброконвейера (например, при сушке песка, угля), или увеличиваться (например, при сушке мела). Рациональная величина зазора h_n между пластинами жалюзей также (в зависимости от вида и гранулометрического состава материала) также находится в пределах $2 \div 5$ мм. Тогда, по выбранным значениям величины зазора между пластинами и угла наклона пластин жалюзей, их ширина определится как

$$b = \frac{h_{n.cp} + \delta_n}{\sin(\gamma_{cp})}$$

При сушке материала важно обеспечить его равномерное распределение по ширине и длине исполнительного органа. Это накладывает некоторые ограничения на ширину рабочей поверхности и на распределение угла наклона жалюзей по длине исполнительного органа, которым в некоторых пределах регулируется скорость перемещения материала (в соответствии с изменением его влажности).

По результатам экспериментальных исследований и опыту эксплуатации вибрационных сушильных установок можно рекомендовать:

- для рядового кускового материала – высота слоя материала $h \leq (1 \div 1,5)D$, ширина лотка $B = (8 \div 10)D$;
- для мелкодисперсного материала величина $h \leq 50$ мм, $B \leq 500$ мм.

Принимая ширину лотка вибросушилки B , выбирая среднюю величину зазора между пластинами $h_{n.cp}$, количество пластин определится как

$$n_n = \frac{S_{\text{щ}}}{Bh_{n.\text{cp}}},$$

а длина конвейера

$$L = (b - b_0)n_n.$$

Далее определяется средняя скорость виброперемещения материала

$$v_{\text{cp}} = \frac{L}{t_c}.$$

Средняя скорость виброперемещения материала сравнивается с рациональными значениями для вибрационных устройств ($0,01 \leq v_{\text{cp}} \leq 0,2$ м/с). В случае необходимости, корректируется длина конвейера, количество (или ширина) пластин. Проверяется также соответствие выбранных параметров виброконвейера с точки зрения обеспечения заданной производительности согласно выражению

$$V = Bhv_{\text{cp}}.$$

В случае необходимости, корректируется ширина лотка конвейера:

$$B = \frac{V}{hv_{\text{cp}}},$$

с соответствующей корректировкой величины $h_{n.\text{cp}}$ ширины щели между пластинами.

Угол наклона исполнительного органа к горизонту α обычно выбирается равным максимальному углу установки пластин жалюзей. Угол направления вибраций, требуемая величина амплитуды и частоты колебаний исполнительного органа находится из условия обеспечения требуемой скорости виброперемещения материала [2]. При этом следует учитывать, что для кусковых материалов обычно используется режим движения материала с отрывом от рабочей поверхности, для мелкодисперсных – безотрывный режим.

Высота лотка под рабочей поверхностью и над слоем материала определяется из следующих соображений.

Высота поддона (лотка под рабочей поверхностью) находится из

условия обеспечения требуемой скорости исходного потока теплоносителя. В результате, экспериментальных исследований установлено, что нормальное омывание потоком слоя материала (без завихрений и обратных потоков) будет, если скорость подаваемой струи теплоносителя не превышает

$v_u = 10$ м/с. Тогда высота поддона

$$H_n = \frac{V_m}{B \cdot v_u}$$

Высота лотка над рабочей поверхностью определится исходя из скорости витания частиц предельно допустимого размера d_g (предельный размер частиц, сушка которых может закончиться за время пребывания в воздушном потоке). Производительность установки по исходящему потоку V_{mi} определяется как производительность по подаваемому теплоносителю с учетом объема испаренной влаги. Количество испаренной влаги в единицу времени определится как

$$Q_g = \frac{Q(W_n - W_k)}{360}, \text{ кг/с,}$$

которое в объемном выражении определится как [3,4]

$$V_g = \frac{1537}{\gamma_g} Q_g, \text{ м}^3/\text{с,}$$

а производительность установки по исходящему потоку теплоносителя

$$V_{mi} = V_m + V_g.$$

Здесь γ_g – плотность испаренной влаги.

Тогда при известной скорости витания частиц предельно допустимого размера $v_{г.д.}$, высота лотка над рабочей поверхностью будет

$$H_g = \frac{V_{mi}}{B v_{г.д.}} + h.$$

При проведении динамического расчета виброконвейера важным параметром является количество материала, находящегося на рабочей

поверхности.

Масса материала, находящегося на рабочей поверхности, состоит из массы исходного материала, за исключением материала, уносимого потоком теплоносителя, влаги, транспортируемой вместе с материалом. Относительное количество влаги, находящейся в материале, определяется ее начальной W_H и конечной W_K влажностью. Принимая закон изменения влажности по длине лотка конвейера экспоненциальным, получим выражение для влажности продукта в любой точке x рабочего органа

$$W = W_H \exp\left(\frac{x}{L}\right) \ln \frac{W_K}{W_H}.$$

Среднее значение влажности по длине рабочего органа определится как

$$W_{cp} = \frac{1}{L} \int_0^L W dx,$$

или, после подстановки W , интегрирования и некоторых преобразований, получим

$$W_{cp} = \frac{W_H}{\ln \frac{W_H}{W_K}} \left[1 - \exp\left(-\ln \frac{W_H}{W_K}\right) \right].$$

С учетом сказанного, масса материала, находящегося на рабочей поверхности

$$m_m \cong QL \left(1 + \frac{W_{cp}}{100} \right) (1 - \alpha_y) / (2v_{cp}),$$

где Q – производительность (кг/с), L – длина лотка (м), α_y – доля материала, уносимого с теплоносителем, v_{cp} – средняя скорость вибротранспортирования (м/с).

Присоединенная масса материала определяется как

где k_{np} – коэффициент присоединения, зависит от режима виброперемещения и определяется из эмпирической зависимости

$$k_{np} = 0,73/\Gamma_1 - 0,18,$$

Γ_1 – коэффициент виброперемещения [2].

Масса лотка с учетом массы материала определяется как

$$m_1 = m_{uo} + m_{np}.$$

На эту величину и ориентируются при выборе параметров вибровозбудителя и упругой системы машины.

Далее, после выполнения конструкторской проработки и определения массы исполнительного органа определяются параметры упругой системы и вибровозбудителя. Производится проверочный расчет виброконвейера.

Учитывая компактность при сравнительно небольшой производительности, предложенную конструкцию вибрационной сушильной установки можно использовать в качестве финишной в каждой линии технологической цепи обогатительной фабрики.

Список литературы

1. Членов В.А., Михайлов Н.В. Сушка сыпучих материалов в виброкипящем слое. – М.: Стройиздат, 1967. – 223 с.
2. Франчук В.П., Федоскин В.А., Плахотник В.В. Особенности конструкции вибротранспортера сушильной установки. – Вібрації в техніці та технологіях. Всеукраїнський науково-технічний журнал. № 2 (44), 2006, с 75 –77
3. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824 с.
4. Литвин А.М. Теоретические основы теплотехники. – М.: Энергия, 1969. – 328 с.

*Надійшла до редколегії 30.04.2007р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким*