

Р.В. КОЛОМИЕЦ

(Украина, Днепропетровск, Институт технической механики НАНУ и ГКАУ)

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ АЭРОФОНТАННОЙ СУШИЛКИ

Введение. Процесс сушки является одной из самых актуальных и востребованных методов в подготовительных и заключительных процессах обогащения полезных ископаемых с целью снижения количества влаги в материале. При этом увеличивается период хранения и качество высушиваемого материала. Во время сушки влажных материалов изменяются также свойства и характеристики высушиваемого материала. Что бы определить оптимальные режимы работы сушилки необходимо иметь представление о процессах проходящих в сушильной установке. Процесс аэрофонтанной сушки является одним из сложных процессов, который требует тщательного анализа, объяснения и соответствующих газодинамических расчетов.

Анализ предыдущих исследований. В настоящее время процесс сушки постоянно подвергается экспериментальным и теоретическим исследованиям с целью определения оптимальных параметров и режимов для разных видов материала и сушильных комплексов. Газодинамические процессы, протекающие по всей сушильной установке от нагнетающего вентилятора по трубопроводу к электротеннам, сушильной камере, системе очистки (циклон, эмульгатор) и, в конечном счете, к разряжающему вентилятору, дают основания на расчетах коэффициентов сопротивления, скоростей и расходах воздуха в любой месте сушильного комплекса. Из-за сложности процессов, протекающих в аэрофонтанной сушилке, как в режиме кипящего слоя, так и в режиме фонтанирования, данный процесс является недостаточно исследованным и оставляет за собой множество нерешенных вопросов.

На базе вибросушильной установки, реализующей виброкипящий слой, предложен энергосберегающий способ сушки [2]. Усовершенствованный способ позволяет в ходе сушки материала поддерживать постоянную критическую температуру энергоносителя и удалять отработанный влажный энергоноситель, а также управлять процессом путем изменения технологических параметров в каждой стадии.

Существует ряд методов, ускоряющих процессы тепло и массообмена в процессе сушки и позволяющие уменьшать объем сушильных установок, их металлоемкость, расходы топлива. Особое внимание привлекают трубы-сушилки, которые используют для интенсификации процесса сушки материалов, содержащих слабо связанную влагу: сульфидных концентратов, угля, асбестовых руд и т.д. В этих аппаратах создают активный аэродинамический режим, позволяющий повышать скорость сушки за счет увеличения относительных скоростей движения фаз, что достигается путем увеличения скорости энер-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

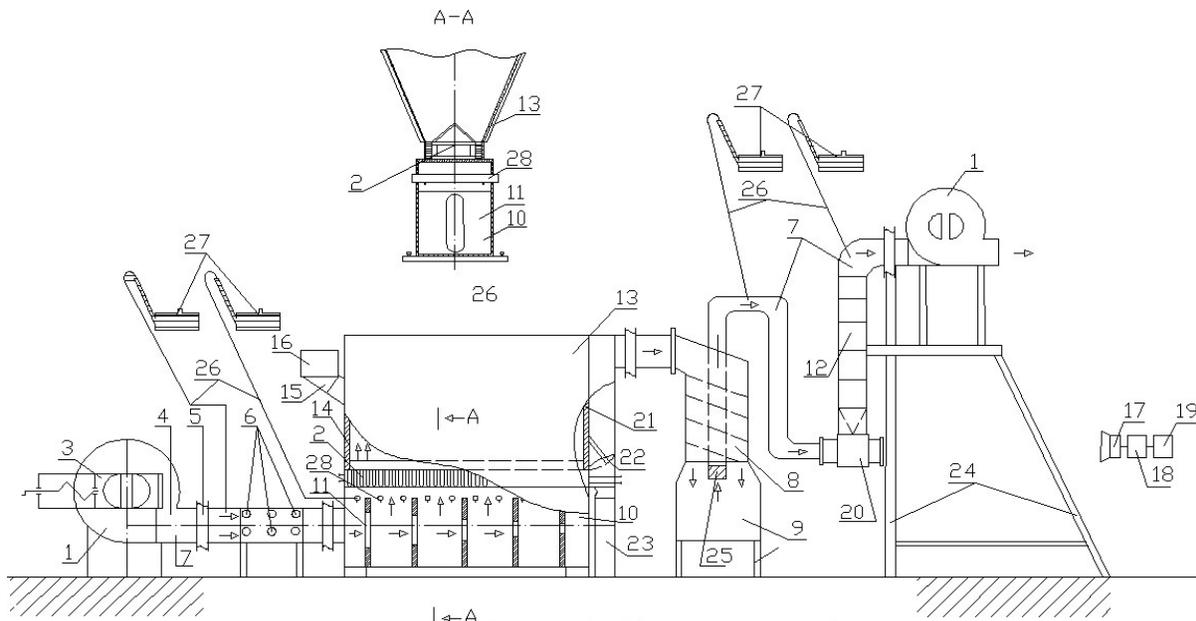
гоносителя и путем торможения дисперсного материала. При этом происходит повышение концентрации материала в единице объема аппарата, а значит и поверхности обезвоживания материала.

В последние годы в промышленной практике широко используется техника взвешенного (кипящего, псевдооживленного) слоя в качестве одного из действенных средств сушки полидисперсных материалов разной природы (зерновые культуры, различные руды и концентраты, химические материалы и т.д.).

В зависимости от характера взвешивания (псевдооживления) зерен и соответствующих конструкций аппаратов взвешенный слой подразделяют на ряд видов, имеющих соответственные наименования: кипящий (КС), фонтанирующий и различные их модификации. Вследствие текучести КС его называют также оживленным или псевдооживленным. Циркуляционное движение материала и газа внутри слоя дало ему одно название – вихревой слой.

Цель данной работы – исследовать газодинамические процессы внутри сушильного комплекса, в частности сушильной камеры, с целью установления наилучшего режима работы при определённых скоростях воздушного потока.

На базе полигона ИТМ НАНУ и ГКАУ построена экспериментальная аэрофонтанная сушилка, представленная на рисунке.



Принципиальная схема стенда "Аэрофонтан-СТР":

- 1 – вентилятор; 2 – модель подовой решетки; 3 – дроссель; 4 – улитка вентилятора;
- 5 – эластичная проставка; 6 – электротэны; 7 – камера давления; 8 – циклон;
- 9 – пылесборный контейнер; 10 – ресивер; 11 – экран; 12 – эмульгатор;
- 13 – модель сушильной камеры; 14 – вертикальная стена сушильной камеры; 15 – течка;
- 16 – бункер имитатора наполнителя КС; 17 – флотоаппарат; 18 – телекамера;
- 19 – видеомагнитофон; 20 – влагосборный контейнер; 21 – вертикальная стенка сушильной камеры; 22 – затвор; 23 – сборник имитатора; 24 – металлический каркас;
- 25 – воздушный фильтр грубой очистки; 26 – резиновая трубка; 27 – микроманометр;
- 28 – приемник полного давления

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

Расчет параметров псевдооживленного слоя базируется на интегральных соотношениях для закона сохранения энергии, в которых некоторый коэффициент (коэффициент потерь) интегрально учитывает все особенности процессов в локальных зонах, зависящих от конструктивных характеристик рабочей зоне сушильной установки, от режимов вентилятора, от характеристик электротенев и распределения теплоты в сушильной камере и др.

Определить расчетным путем этот коэффициент с учетом всех отмеченных факторов не удастся в связи с чрезвычайной сложностью процессов, поэтому остается единственно возможным экспериментальное определение этого коэффициента.

Соотношение для параметров режимов работы могут быть получены из уравнения сохранения энергии для псевдооживленного слоя [1]:

$$K_n E_n = E_k - E'_k, \quad (1)$$

где E_n – удельная энергия псевдооживленного потока, т.е. мощность, затрачиваемая на псевдооживление, кгсм/с; E_k – удельная кинематическая энергия (мощность) воздушного потока на входе, кгсм/с; E'_k – удельная кинетическая энергия воздушного потока выше псевдооживленного слоя, кгсм/с; K_n – коэффициент потерь.

Удельная энергия псевдооживленного потока равна [1]:

$$E_n = w_{cl} \gamma_{cl} V_{cl}, \quad (2)$$

где w_{cl} – средняя скорость вихревого движения частиц в слое, м/с; γ_{cl} – удельный вес слоя, кгс/м³; V_{cl} – объем слоя, м³.

Удельный вес слоя зависит от массы высушиваемого материала в слое ($m_{T.cl}$) и воздуха ($m_{B.cl}$), находящегося в слое [1]:

$$\gamma_{cl} = \frac{(m_{T.cl} + m_{B.cl})g}{V_{cl}}, \quad (3)$$

Удельная кинетическая энергия воздушного потока на входе в сушильную камеру находится по формуле [2]:

$$E_k = \frac{\gamma_B w_B^2}{2g} Q, \quad (4)$$

где w_B – скорость воздуха на входе в сушильную камеру, м/с²; $\gamma_B = \frac{Pg}{RT}$ – удельный вес воздуха, кг/м³; g – ускорение свободного падения, м/с²; Q – объемный рас-

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

ход воздуха в сушильную камеру, м³/с; P – абсолютное давление воздуха на входе в сушильную камеру, МПа; R , T – газовая постоянная и температура воздуха, Дж/(кг К), К.

Так как скорость воздуха выше псевдооживленного слоя мала (менее 10 м/с), то $E'_k \ll E_k$ (менее 1%). Поэтому энергией E'_k пренебрегаем. С учетом этого допущения и формул (4) и (3) уравнение (1) принимает вид:

$$K_n w_{cl} \gamma_{cl} V_{cl} = \frac{\gamma_B w_B^2}{2g} Q. \quad (5)$$

В последней формуле объемный расход воздуха выразим через площадь живого сечения решетки на входе в сушильную камеру $Q = w_B F_{ж}$, где $F_{ж}$ – площадь живого сечения решетки, м². Подставим значение Q в (5) получим $2gK_n w_{cl} \gamma_{cl} V_{cl} = \gamma_B w_B^3 F_{ж}$, откуда получим выражение для скорости воздуха:

$$w_B^3 = \frac{2gK_n w_{cl} \gamma_{cl} V_{cl}}{\gamma_B F_{ж}}. \quad (6)$$

При известных конструктивных параметрах стенда с учетом реальных характеристик материала и условий работы устройств определяются режимы подачи воздушного потока энергоносителя. От этого зависят нужные скорости воздуха в каналах решетки на входе в сушильную камеру. При таких условиях неизбежно приходится принимать ряд упрощающих допущений о значениях некоторых параметров, которые в процессе накопления экспериментальных данных итерационно могут уточняться. В качестве имитатора высушиваемого материала использовались шарообразные частицы полиэтилена, цилиндрические частицы резины и зерна пшеницы. Эти компоненты выбраны из условий удобства эксплуатации стенда, а также из условий сохранения прозрачности стекол на боковых стенках воронки стенда.

Скорость w_B можно найти из выражения (7):

$$w_B = \sqrt{\frac{2(p_n - p_c)}{\rho}}, \quad (7)$$

где p_n – полное давление, p_c – статическое давление, $\rho = 1,2$ кг/м³ – плотность воздуха.

После испытаний, проведенных на испытательном полигоне ИТМ НАНУ и ГКАУ, были определены параметры потока над подовой решеткой (таблица).

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

P_{cl} , кгс	w , м/с	Расчетные характеристики			Экспериментальные характеристики		
		ΔH_p , кгс/м ²	ΔH_{cl} , кгс/м ²	γ_{cl} , кгс/м ³	ΔH_p , кгс/м ²	ΔH_{cl} , кгс/м ²	γ_{cl} , кгс/м ³
5	28,37	5,81	25,37	57,2	10,9	24,8	97,6
10	35,75	9,23	40,29	65,3	13,0	39,4	157,2
15	40,92	12,09	52,79	70,5	15,2	51,7	183,2
20	45,04	14,65	63,95	74,5	15,8	62,6	218,1

Примечание: P_{cl} – вес слоя имитатора; w – скорость воздуха в живом сечении модели решетки; ΔH_p – потери полного давления в модели решетки; ΔH_{cl} – потери полного давления в псевдооживленном слое имитатора; γ_{cl} – удельный вес псевдооживленного слоя имитатора.

Результаты расчетов и экспериментов удовлетворительно (с точностью 10%) согласованы.

Выводы. Проведенный газодинамический расчет позволил определить оптимальные режимы работы с учетом скорости воздушного потока в сушильной камере и над подовой лопаточно-щелевой решеткой. Также установлена возможность сокращения продолжительности обработки дисперсных материалов путем применения более высоких скоростей материальных потоков.

Таким образом, реализация технологических процессов во взвешенном слое дает возможность повысить эффективность использования конструктивных объемов установки, а, следовательно, производительность сушилки.

Список литературы

1. Черный Г.Г. Газовая динамика: Учебник для университетов и вузов. – М.: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1988. – 424 с.
2. Забродский С.С. Гидродинамика в псевдооживленном слое. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 487 с.
3. Прядко Н.С. Сжигание низкосортных углей с газодинамической транспортировкой материала: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Днепр-ск: ДМетаУ, 2005. – 23 с.
4. Кошмаров Ю.А., Рыжов Ю.А. Прикладная динамика разряженного газа. – М.: "Машиностроение", 1977. – 184 с.
5. Долматова М.О., Лисовая Г.К., Ермаков А.А. Интерсификация процесса сушки в трубах сушилках со вставками // Вестник УГТУ-УПИ. Серия химическая. – 2003. – №3(23). – С. 164-166.

© Коломиец Р.В., 2014

*Надійшла до редколегії 23.09.2014р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. Л.Ж. Горобець*