

Исследование аэродинамики полидисперсной газозвеси конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке

Ю.А. Долматова, А.А. Ермаков, М.О. Долматова

ФГАОУ ВПО УрФУ им. Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Сушка материалов широко применяется практически во всех отраслях химической промышленности, в обогащении полезных ископаемых, в производствах пищевых продуктов, и в других производствах. Сушка требует значительных затрат на тепловую энергию. Качество продуктов также зависит от режимов сушки.

В настоящее время для сыпучих материалов наиболее распространены барабанные сушилки, их влагонапряжение – A , обычно колеблется в пределах от 20 до 100 кг/м³час; сушилки кипящего слоя (с псевдооживленным слоем) – A до 150 кг/м³час. К более новым относятся пневматические трубы-сушилки.

Трубы-сушилки широко применяются в угольной промышленности [1, 2]. В конце 20 века их стали внедрять для сушки минеральных солей, где влагонапряжение труб-сушилок достигает 600÷800 кг/м³час [3–5], т.е. в десятки раз больше, чем барабанных и сушилок кипящего слоя.

Трубы-сушилки отличаются не только высоким влагонапряжением, но и простотой конструкции, малой металлоемкостью, капитальные затраты на их строительство в несколько раз ниже по сравнению с барабанными.

Аэродинамика потоков газозвеси, тепло- и массообмен в трубах-сушилках, зависящие от дисперсности материалов, от начального и конечного влагосодержания, от химического состава и других свойств, требуют новых исследований, в частности процесса сушки конверсионного карбоната кальция. Особое требование, предъявляемое к высушенному продукту – это получение карбоната кальция фракционного состава с диаметром частиц в микронах: 1÷5 – 5%; 10÷20 – 10,2%; 20÷40 – 45,6%; 40÷60 – 30,9%; 60÷100 – 8,35%. Такое требование возможно обеспечить только в процессе сушки карбоната кальция в трубе-сушилке. Например, после барабанных и шнековых сушилок для кремнефтористого натрия были установлены мельницы, так как доля частиц диаметром более 63 микрон не должна была превышать 15%. Внедрение труб-сушилок для сушки кремнефтористого натрия позволило получать такой продукт без доизмельчения [4, 5].

Тепло- и массообмен в трубах-сушилках определяются аэродинамикой потока газозвеси. В данной работе приводятся результаты исследований аэродинамики газозвеси карбоната кальция в трубе-сушилке полув заводского типа диаметром 0,069 м, длиной 4,8 м от места загрузки, производительностью, в зависимости от режима сушки, 30÷100 кг/ч карбоната кальция. Материал подается в трубу шнеком с регулируемым числом оборотов. Шнек приводится во вращение от двигателя через редуктор. Продукт улавливается в циклоне. Воздух транспортируется через установку вакуум-насосом. Опыты по изучению аэродинамики проводились без подогрева воздуха.

С помощью дисков, соединенных общей тягой, труба перекрывалась, одновременно выключали питатель и вакуум-насос. Первый диск расположен ниже места загрузки на 0,6 м, второй – выше места загрузки на 0,7 м и далее через 1 м.

Затем, начиная с нижнего диска, материал из участков трубы собирался, взвешивался. По навескам G_n , кг, определяли действительную концентрацию – μ , кг/м³, и скорость материала – w , м/с, в данном объеме V , м³, трубы-сушилки:

$$\mu = \frac{G_i}{V}.$$

Скорость материала:

$$w = \frac{G \cdot L}{G_t},$$

где G – производительность сушилки, кг/с;

L – длина участка трубы, м.

Исходную концентрацию μ_p определяли по формуле:

$$\mu_\delta = \frac{G}{V_{\bar{a}}},$$

где $V_{\bar{a}}$ – производительность сушилки по воздуху, м³/с.

Начальная влажность карбоната кальция колеблется от 7 до 15%. Опыты по сушке показали, что при влажности 7÷9%, скорости воздуха 12 м/с провала нет. Для более влажного продукта скорость воздуха должна быть не менее 17 м/с. Поэтому опыты проводились при скоростях воздуха 12 и 17 м/с.

Графические зависимости скорости карбоната кальция по длине трубы-сушилки при скоростях воздуха 12 и 17 м/с при разных исходных концентрациях показаны на рис. 1, а изменение фактической концентрации карбоната кальция при таких же условиях изображены на рис. 2.

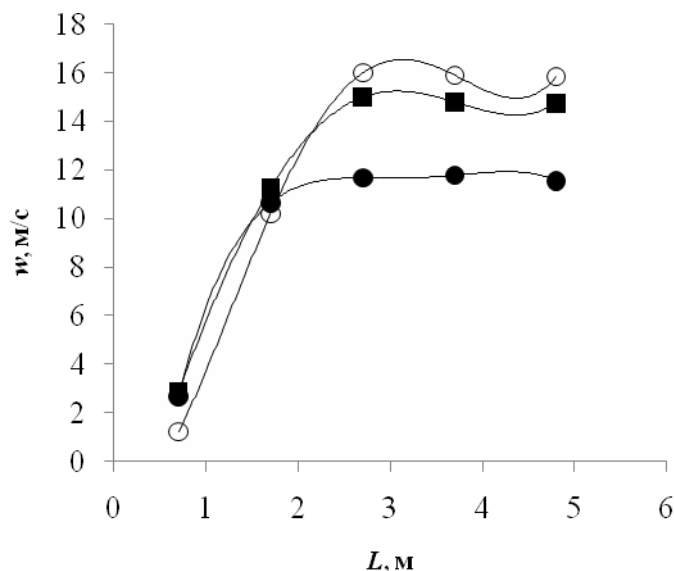


Рис. 1. Изменение скорости карбоната кальция по длине трубы-сушилки в зависимости от исходных концентраций и скоростей воздуха. Исходные концентрации μ_p : ● – 1,430 кг/м³ при скорости воздуха 12 м/с; ■ – 0,764 кг/м³ при скорости воздуха 17 м/с; ○ – 1,009 кг/м³ при скорости воздуха 17 м/с.

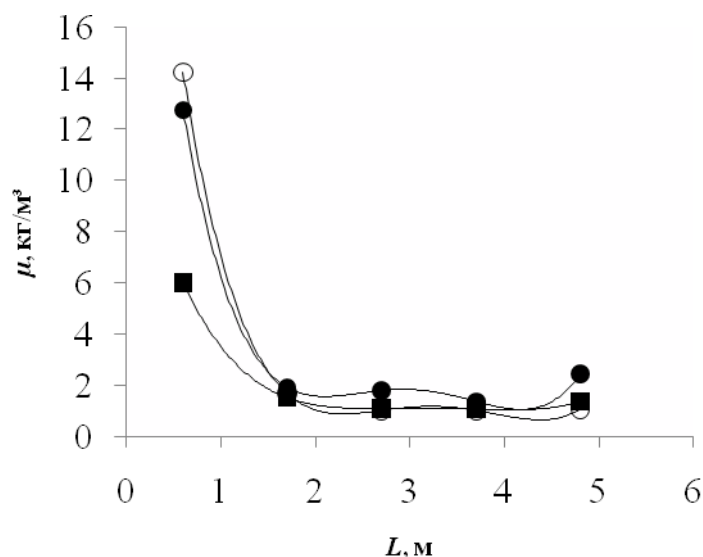


Рис. 2. Изменение фактической концентрации карбоната кальция по длине трубы-сушилки в зависимости от исходных концентраций и скоростей воздуха. Исходные концентрации μ_p : ● – 1,430 кг/м³ при скорости воздуха 12 м/с; ■ – 0,764 кг/м³ при скорости воздуха 17 м/с; ○ – 1,009 кг/м³ при скорости воздуха 17 м/с.

Из рис. 1 видно, что скорости карбоната кальция в конце трубы почти достигают скорости воздуха и перед поворотом трубы к циклону (на 90°) уменьшаются. Концентрация карбоната кальция на разгонном участке в 5÷10 раз больше, чем исходная (рис. 2), и на двух метрах устанавливается практически постоянной, перед поворотом в циклон при больших скоростях незначительно возрастает.

Повышение концентрации карбоната кальция на разгонном участке объясняется тем, что в месте загрузки материал проваливается вниз и на расстоянии приблизительно 1 м от места загрузки совершает петлеобразное движение. Из графиков следует, что на разгонном участке приблизительно 1,5–2 м от места загрузки карбоната кальция устанавливаются практически постоянные скорости w и концентрации материала μ .

В результате обработки экспериментальных данных о распределении по длине трубы-сушилки L концентрации μ карбоната кальция и его скорости w были получены уравнения, определяющие связи перечисленных функций и аргументов. В таблице 1 приведены уравнения для расчета скорости карбоната кальция w по длине трубы-сушилки, в таблице 2 – уравнения для расчета концентрации μ . Коэффициент достоверности аппроксимации R^2 близок к единице.

Таблица 1

Изменение скорости карбоната кальция w по длине трубы-сушилки L

Скорость воздуха, м/с	Исходная концентрация, кг/м ³	Вид функции w
12	1,430	$-0,22 \cdot L^4 + 2,939 \cdot L^3 - 14,421 \cdot L^2 + 30,925 \cdot L - 12,85$
17	0,764	$0,1316 \cdot L^4 - 1,0384 \cdot L^3 + 0,5566 \cdot L^2 + 10,733 \cdot L - 4,8921$
17	1,009	$0,3462 \cdot L^4 - 3,5039 \cdot L^3 + 9,9393 \cdot L^2 - 1,6755 \cdot L - 1,3627$

Изменение концентрации карбоната кальция μ по длине трубы-сушилки L

Скорость воздуха, м/с	Исходная концентрация, кг/м ³	Вид функции μ
12	1,430	$0,4287 \cdot L^4 - 5,2679 \cdot L^3 + 23,345 \cdot L^2 - 44,249 \cdot L + 31,982$
17	0,764	$0,113 \cdot L^4 - 1,4798 \cdot L^3 + 7,1323 \cdot L^2 - 15,017 \cdot L + 12,768$
17	1,009	$0,3428 \cdot L^4 - 4,523 \cdot L^3 + 21,632 \cdot L^2 - 44,402 \cdot L + 34,011$

Процессы тепло- и массообмена в трубе-сушилке определяются аэродинамикой потока газозвеси. Коэффициенты теплоотдачи и массоотдачи зависят от относительной скорости, которая равна разности скоростей газа и материала. Поверхность тепло- и массообмена зависит от концентрации материала. Полученные зависимости необходимы для расчета труб-сушилок для конверсионного карбоната кальция.

Основные выводы работы.

Для тонкодисперсных продуктов, подобных конверсионному карбонату кальция, не подходят методики расчета труб-сушилок, например, для угля [1, 2]. Так, скорости газа, если считать по этим методикам, увеличенные в 20 раз по сравнению со скоростью витания самых крупных частиц, такие, что весь карбонат кальция уходит в провал.

Расчеты двух участков трубы – разгонного и со стационарным режимом, с учетом тепло- и массообмена показали, что длина трубы-сушилки получается в 2 раза меньше.

Полученные уравнения для расчета скорости карбоната кальция (табл.1) и концентрации (табл. 2) по длине трубы-сушилки могут быть использованы при проектировании труб-сушилок для карбоната кальция.

Литература:

1. Федоров И.М. Сушка во взвешенном состоянии. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955.
2. Филиппов В.А. Техника и технология сушки угля. М.: Недра, 1975. С. 287.
3. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. С. 319.
4. Лисовая Г.К., Шабалин К.Н. // Химическая промышленность. 1969. №11. С. 864–866.
5. Лисовая Г.К., Ведерникова М.И., Инюшкин Н.В., Говорков А.В., Новиков В.И., Винкман А.О., Пярнитс Ю.Э., Шеремет Р.И. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1969. №5. С. 39–40.