

Исследование гидродинамики потока газозвеси конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке

М.О. Долматова^{1,2}, Ю.А. Долматова¹, Л.В. Соловьева-Гоголева¹

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

²Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России

Аннотация: В статье приведены результаты исследований гидродинамики потока газозвеси конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке. Получены уравнения для определения скорости и концентрации карбоната по длине трубы-сушилki при разных скоростях воздуха и расходных концентрациях. Результаты исследований могут быть использованы для проектирования труб-сушилок для многотоннажных производств конверсионного карбоната кальция.

Ключевые слова: гидродинамика, скорость, концентрация, труба-сушилka, карбонат кальция.

Опыты по изучению гидродинамики потока газозвеси конверсионного карбоната кальция проводились на трубе-сушилке с внутренним диаметром 0,069 м, длиной 4,8 м [1–7]. По оси трубы на стержне вертикально закреплены диски, первый диск ниже шнека на 0,6 м, второй – выше шнека на 0,7 м и далее через 1 м, всего 5 дисков.

Опыты проводили в следующей последовательности. Взвешивали и засыпали в бункер карбонат кальция. Включали вакуум-насос и устанавливали заданную скорость воздуха. С помощью лабораторного автотрансформатора устанавливали заданное напряжение, а значит и производительность (предварительно определяли ее зависимость от напряжения). Включали питатель (шнек). После достижения установившегося режима движения газозвеси одновременно перекрывалось сечение трубы заслонками (дисками), соединенными с помощью системы рычагов с общей тягой, и одновременно останавливали шнек и вакуум-насос.

После этого, начиная с нижней секции трубы, собирали навески продукта – G_n , кг, последовательно из каждого определенного заслонками

объема трубы – V , м^3 . Фактическую концентрацию – μ и скорости материала – v_m , на соответствующих участках трубы рассчитывали по формулам:

$$\mu_p = \frac{G_n}{V}; v_m = \frac{G \cdot L}{G_n},$$

где G – производительность установки, кг/с ;

L – длина участка трубы между двумя дисками, м ;

Расчетная (исходная) концентрация материала определялась по формуле:

$$\mu_p = \frac{G}{V_r},$$

где V_r – производительность по воздуху, $\text{м}^3/\text{с}$.

В результате обработки опытных данных получены зависимости скорости карбоната кальция – v_m , от длины трубы сушилки – L , скорости воздуха – v_r и исходной (расчетной) концентрации – μ_p , (рис. 1–5) с высокой степенью достоверности R^2 .

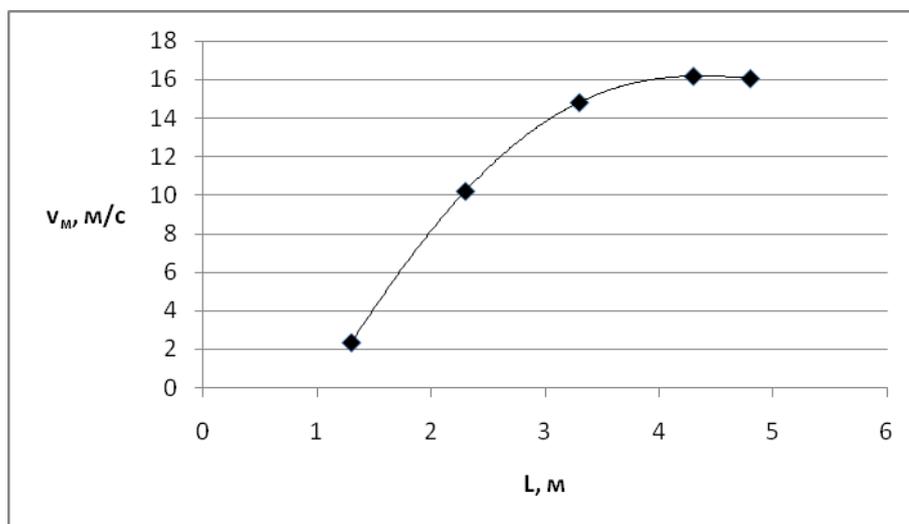


Рис. 1. Изменение скорости карбоната кальция – v_m , м/с , по длине трубы-сушилки – L , м , при скорости воздуха $v_r = 17 \text{ м/с}$, $\mu_p = 1,020 \text{ кг/м}^3$.

Полученная по рис. 1 зависимость имеет вид:

$$v_m = 0,064L^4 - 0,712L^3 + 1,198L^2 + 9,058L - 10,103, \quad (1)$$

$$R^2 = 1.$$

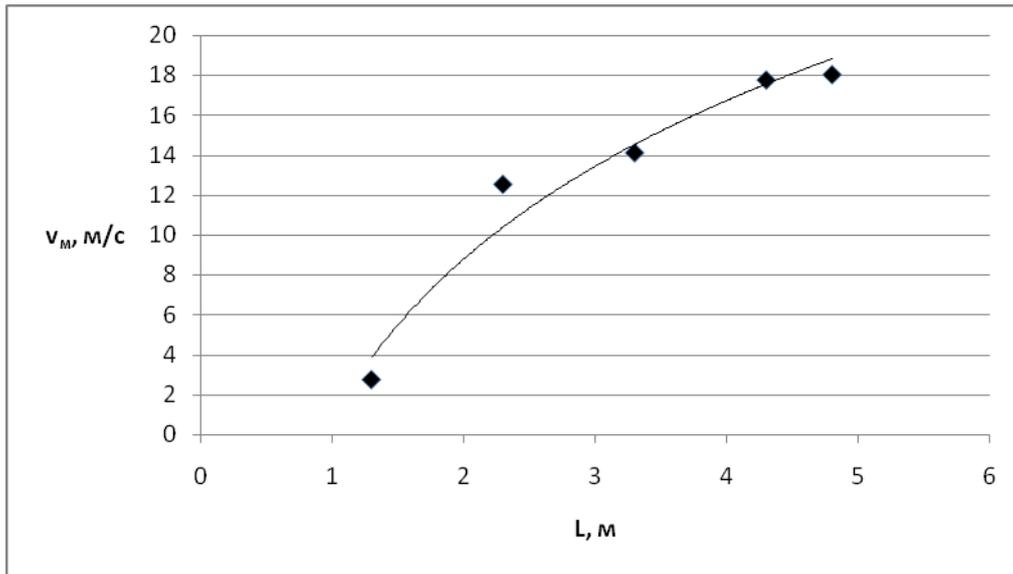


Рис. 2. Изменение скорости карбоната кальция – v_M , м/с, по длине трубы-сушилки – L , м, при скорости воздуха $v_\Gamma = 19$ м/с, $\mu_p = 0,772$ кг/м³.

Полученная по рис. 2 зависимость имеет вид:

$$v_M = 11,439 \ln(L) + 0,864, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,96.$$

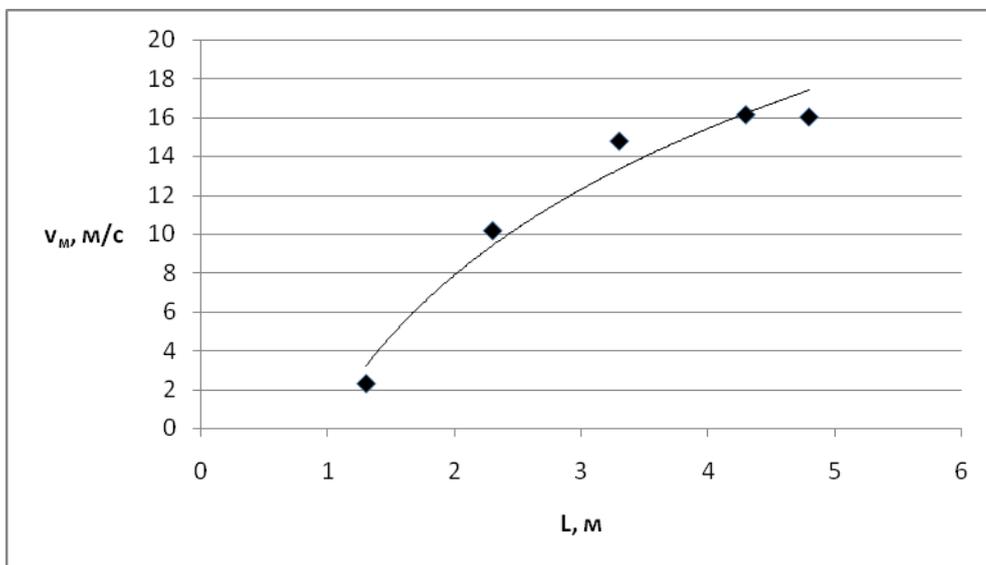


Рис. 3. Изменение скорости карбоната кальция – v_M , м/с, по длине трубы-сушилки – L , м, при скорости воздуха $v_\Gamma = 17$ м/с, $\mu_p = 1,020$ кг/м³.

Полученная по рис. 3 зависимость имеет вид:

$$v_M = 10,891 \ln(L) + 0,325, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,96.$$

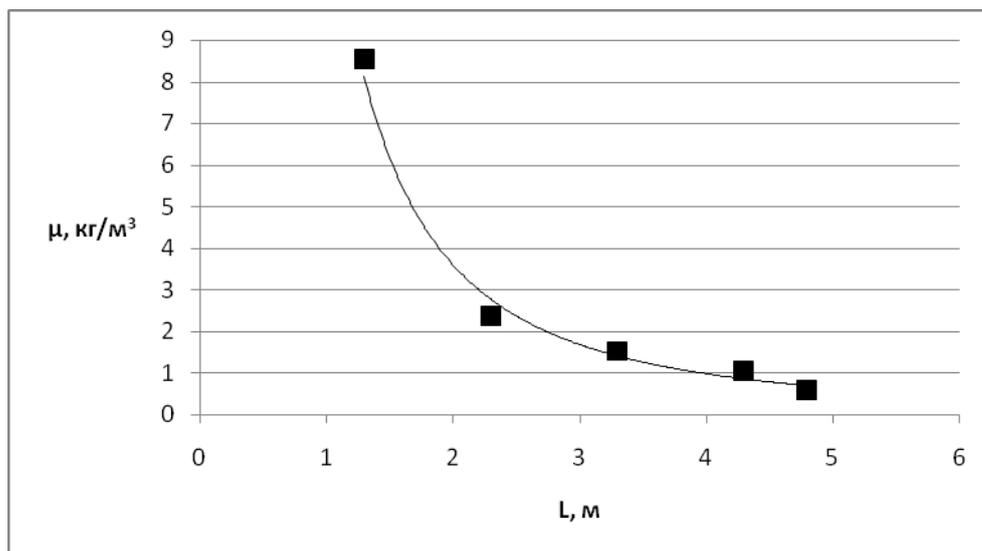


Рис. 4. Изменение концентрации карбоната кальция – μ , кг/м^3 , по длине трубы-сушилки – L , м, при скорости воздуха $v_{\Gamma} = 19$ м/с, $\mu_p = 0,772$ кг/м^3 .

Полученная по рис. 4 зависимость имеет вид:

$$\mu = 13,327L^{-1,884}, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,97.$$

Опыты по исследованию изменения скорости и концентрации карбоната кальция по длине трубы-сушилки показывают, что изменение скорости материала и его концентрации происходят на расстоянии от места загрузки (подачи) материала около 2 м. Между первым и вторым дисками карбонат кальция вначале проваливается вниз и совершает петлеобразное движение, обеспечивает на расстоянии 1,3÷2,3 м максимальные концентрации и минимальные скорости материала. Далее изменения скоростей и концентраций не велики.

В результате обработки опытных данных получены уравнения (1–4), которые с высокой степенью достоверности могут быть использованы при расчете труб-сушилок. Труба-сушилка, на которой проводились опыты может обеспечивать производительность, в зависимости от влажности (начальной и конечной) и температуры воздуха (газа) от 100 до 150 кг/ч.

Полученные в работе данные могут использоваться при математическом моделировании [8], в эксергетическом анализе работы труб-сушилок для минеральных солей, подобных карбонату кальция [9, 10].

Литература

1. Долматова Ю.А., Ермаков А.А., Долматова М.О. Исследование аэродинамики полидисперсной газозвеси конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/835.
2. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия, 1984. 319 с.
3. Лисовая Г.К., Шабалин К.Н. Исследование сушки минеральных солей в пневматической трубе-сушилке // Химическая промышленность. 1969. №11. С. 64–66.
4. Лисовая Г.К., Ведерникова М.И., Инюшкин Н.В., Говорков А.В., Новиков В.И., Винкман А.О., Пярнитс Ю.Э., Шеремет Р.И. Испытание опытно-промышленной трубы-сушилки для кремнефтористого натрия // Химическое и нефтяное машиностроение. 1969. №5. С. 39–40.
5. Долматова Ю.А., Ермаков А.А., Долматова М.О. Исследование процесса сушки конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке // Инженерный вестник Дона, 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1523.
6. Alexander S.W. Berechnung der Trocknung feuchter Produkte im Stromtrockner // Chem.-Ing. Techn., 1973, vol.45, no.16, pp. 1032–1039.
7. Mendes M.J. de. Uber die Berechnung von Stromtrocknern // Verfahrenstechnik, 1978, vol.12, no.12, pp. 791-794.
8. Долматова Ю.А., Шишкин Г.И. Исследование процесса сушки конверсионного карбоната кальция в трубе-сушилке с помощью математической модели // Инженерный вестник Дона, 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/566.



9. Федоров И.М. Теория и расчет процесса сушки во взвешенном состоянии. М.; Л.:Госэнергоиздат, 1955. 176 с.

10. Филиппов В.А. Техника и технология сушки угля. М.: Недра, 1975. 287 с.

References

1. Dolmatova Yu.A., Ermakov A.A., Dolmatova M.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/835.

2. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki [Basic techniques of drying]. M.: Khimiya, 1984. 319 p.

3. Lisovaya G.K., Shabalin K.N. Khimicheskaya promyshlennost'. 1969. №11. pp. 64–66.

4. Lisovaya G.K., Vedernikova M.I., Inyushkin N.V., Govorkov A.V., Novikov V.I., Vinkman A.O., Pyarnits Yu.E., Sheremet R.I. Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie. 1969. №5. pp. 39–40.

5. Dolmatova Yu.A., Ermakov A.A., Dolmatova M.O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2013/1523.

6. Alexander S.W. Berechnung der Trocknung feuchter Produkte im Stromtrockner. Chem.-Ing. Techn., 1973, vol.45, no.16, pp. 1032–1039.

7. Mendes M.J. de. Uber die Berechnung von Stromtrocknern. Verfahrenstechnik, 1978, vol.12, no.12, pp.791-794.

8. Dolmatova Yu.A., Shishkin G.I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2011, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/566.

9. Fedorov I.M. Teoriya i raschet protsesssa sushki vo vzveshennom sostoyanii [Theory and calculation of drying process in a suspended state]. M.; L.:Gosenergoizdat, 1955. 176 p.

10. Filippov V.A. Tekhnika i tekhnologiya sushki uglya [Technique and technology of coal drying]. M.: Nedra, 1975. 287 p.