

УДК 621.928.95

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
СУШКИ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ  
В АППАРАТАХ ВЗП**

*В.А. УГЛОВ, М.Б. САЖИНА, А.П. БУЛЕКОВ*

**(Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности)**

Известно [1, 2], что при определенных условиях в аппаратах со встречными закрученными потоками взаимодействующими

фазами (аппараты ВЗП) образуется устойчивое вращающееся кольцо из дисперсных частиц обрабатываемого в них

материала. Указанный гидродинамический режим представляет особый интерес при использовании аппаратов ВЗП в качестве сушилок для дисперсных материалов, поскольку способствует увеличению времени пребывания материала в аппарате, существенно расширяя тем самым ассортимент дисперсных материалов, которые можно подвергнуть сушке.

Практическая реализация режима вращения кольца дисперсного материала в аппарате ВЗП связана с разработкой его математического описания, позволяющего определить необходимые режимно-конструктивные параметры этого процесса. Исследование и получение такой модели и явились целями данного исследования.

На первом этапе были выявлены условия, обеспечивающие образование вращающегося кольца обрабатываемых в аппарате ВЗП дисперсных частиц. При этом взаимодействующие газовые потоки рас-

сматривались как самостоятельные фазы, разделенные проницаемой цилиндрической поверхностью по всей рабочей зоне аппарата. Характерным размером этой поверхности в цилиндрической системе координат служила радиальная координата этой поверхности  $r_*$ .

В качестве численной оценки этого параметра в работе принято значение  $r_* = 0,63R$ , где  $R$  – характерный размер рабочей зоны. Указанная оценка основана на результатах исследований из [3]. Интенсивность перетока вторичного газового потока в центральный аппроксимировалась случайной величиной с равномерной плотностью распределения по осевой координате.

В условиях перечисленных выше допущений с помощью принципа суперпозиции скоростей газовой фазы получено уравнение для определения поля ее осевых скоростей:

$$V_z = \frac{1}{\pi(R^2 - r_k^2)} \left\{ L_1 \left[ 1 - \left( \frac{\operatorname{artg} \frac{r_k}{z}}{\operatorname{arctg} \frac{r_k}{z_0}} \right)^{k+1} \right] - \frac{L_2(z^2 + 2Hz)}{H^2} \right\}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус аппарата;  $r_k$  – радиус кольца;  $L_1$  и  $L_2$  – расходы газа по каналам;  $H$  – высота рабочей зоны аппарата;  $k$  – параметр, характеризующий интенсивность распределения первичного газового потока в рабочей зоне аппарата.

Уравнение (1) позволяет определить осевую координату  $z_0$ , соответствующую нижней границе вращающегося кольца дисперсных частиц. Она находится из условия равенства осевой скорости несущей фазы и скорости витания дисперсных частиц:

$$V_B = V_z. \quad (2)$$

Для оценки скорости витания дисперсных частиц нами использовалось критериальное уравнение [4]:

$$\operatorname{Re}_B = \frac{\operatorname{Ar}}{18 + 0,61\sqrt{\operatorname{Ar}}}, \quad (3)$$

где  $\operatorname{Re}$  и  $\operatorname{Ar}$  – критерии Рейнольдса и Архимеда.

Таким образом, совместное решение уравнений (1...3) позволяет определить координату  $z_0$  нижней границы вращающегося кольца дисперсных частиц в аппарате ВЗП. Параметры, характеризующие объем этого кольца, его порозность, среднее время пребывания частиц в нем, удерж-

живающую способность, определяемую на основе гидродинамических исследований из [3, 5]. Указанные характеристики играют определяющую роль при выборе режима сушки конкретного материала.

Статистическая обработка результатов как качественных (на основе визуальных наблюдений), так и количественных (с помощью аэродинамических датчиков и приборов) опытов позволила получить необходимые количественные оценки основных характеристик вращающегося кольца дисперсных частиц в аппарате ВЗП.

Выделим три формы, в которых реализуется режим вращающегося кольца. При соотношении расходов газа по каналам  $(L_2/L_1) = 0,1 + 0,5$  четкой верхней границы кольца не наблюдается. Увеличение соотношения расходов влечет за собой фиксацию верхней границы кольца с одновременным увеличением его высоты. Дальнейший рост безразмерного отношения  $(L_2/L_1)$  приводит к пульсациям слоя дисперсного материала во вращающемся кольце.

Удерживающая способность вращающегося кольца зависит как от соотношения расходов газовых потоков по каналам, так и от физико-химических свойств обрабатываемого материала. Для волокнообразующих полимеров группы ПВХ максимум удерживающей способности кольца приходится на соотношение расходов  $(L_2/L_1) = 0,7 + 1,2$  в зависимости от марки и технологии получения полимера.

В среднем ширина вращающегося кольца составляет около 4 мм, причем внешняя поверхность кольца находится на расстоянии 1..2 мм от стенки аппарата.

Порозность слоя дисперсных частиц во вращающемся кольце зависит от соотношения расходов газа по каналам и характеристик обрабатываемого материала. Для моделей аппаратов ВЗП диаметром 100...200 мм она составляет 0,65...0,9. Оценка параметра  $K$  разработанной математической модели на основании проведенных исследований может быть принята равной 0,8.

Представленные выше оценки параметров вращающегося кольца дисперсных

частиц получены для волокнообразующих полимеров с капиллярно-пористой структурой близкой к ПВХ. Для других материалов они подлежат уточнению в зависимости от принадлежности обрабатываемого материала к той или иной группе материалов как объектов сушки [1].

Неотъемлемой частью математической модели процесса сушки являются уравнения, описывающие кинетику этого процесса. Для их получения применительно к исследуемому процессу нами использовалось обобщенное уравнение массопередачи [6]. На его основе получено расчетное соотношение для определения времени сушки, необходимого для достижения требуемой влажности готового продукта, которое можно представить в виде

$$\tau = \frac{d \rho r (A - B)}{24 \alpha (t - \theta)} \ln \frac{(u_H - B)(A - u)}{(A - u_H)(u - B)}, \quad (4)$$

где  $d$  – характерный размер частиц дисперсного материала;  $\rho$  – плотность частиц;  $r$  – теплота парообразования;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от сушильного агента к частицам материала;  $t$  – температура сушильного агента;  $\theta$  – температура мокрого термометра;  $u_H, u$  – соответственно начальное и текущее влагосодержание частиц;  $A, B$  – асимптотические равновесные влагосодержания частиц материала.

Методика определения асимптотических равновесных влагосодержаний  $A$  и  $B$ , входящих в расчетное уравнение (4), известна [5].

Совокупность уравнений (1...4) позволяет прежде всего оценить возможность обработки дисперсного материала в режиме вращающегося кольца. Для этого необходимое (определяемое кинетическим уравнением (4)) время сушки должно соответствовать среднему времени пребывания материала во вращающемся кольце дисперсных частиц. В случае соответствия этих характеристик режимные параметры процесса сушки, обеспечивающие заданную производительность, определяются уравнениями (1...3).

## ВЫВОДЫ

1. Предложена математическая модель процесса сушки волокнообразующих полимеров, позволяющая определить необходимые и достаточные условия его реализации в режиме вращающегося кольца дисперсных частиц в аппаратах ВЗП.

2. Получены необходимые оценки параметров разработанной модели, необходимые для расчета режимно-конструктивных параметров процесса сушки дисперсных материалов в режиме вращающегося кольца.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Сажин Б.С.* Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984.
2. *Сажин Б.С., Сажин В.Б.* Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997.
3. *Сажин Б.С., Гудим Л.И.* Вихревые пылеуловители. – М.: Химия, 1995.
4. Расчет аппаратов кипящего слоя / Под ред. И.П. Мухленова. – М.: Химия, 1987.
5. *Гудим Л.И., Сажин Б.С.* // Химическая промышленность. – 1987, № 4.
6. *Сажин Б.С., Реутский В.А.* Сушка и промывка текстильных материалов. – М.: Легпромбытиздат, 1990.

Рекомендована кафедрой материаловедения.  
Поступила 01.12.00.