

УДК 66.047

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ  
ДИСПЕРСНЫХ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩИХ ПОЛИМЕРОВ  
КАК ОБЪЕКТОВ СУШКИ***Б.С. САЖИН, М.Б. САЖИНА, А.С. БЕЛОУСОВ, М.В. ЧУНАЕВ, Ю.В. МОРДОВИНА, А.В. ЛОПАКОВ**(Московский государственный текстильный университет им. А.Н. Косыгина)*

Во многих отраслях промышленного комплекса сушка является одним из самых распространенных, важных, сложных и энергоемких технологических процессов, во многом определяющих качество готовой продукции. Однако решение такой актуальной задачи, как повышение эффективности процесса сушки, невозможно без классификации высушиваемых материалов, осуществляемой на основе комплексного анализа материалов как объектов сушки [1], [2].

Среди основных характеристик, необходимых для комплексного анализа подвергаемых сушке влажных материалов, можно выделить пять групп: 1) сорбционно-структурные (изотермы сорбции-десорбции, кривые распределения пор по радиусам), ответственные за внутреннее диффузионное сопротивление в процессе сушки; 2) тепловые (теплопроводность, температуропроводность, теплоемкость), ответственные за термическое сопротивление в процессе сушки; 3) гигротермические (термограммы сушки, теплоты смачивания), определяющие виды и энергию связи влаги с материалами; 4) структурно-механические (адгезионно-аутогезионные свойства, размер и форма частиц), влияющие на выбор гидродинамического режима и конструкции грузочно-разгрузочных устройств; 5) технологические характери-

стики (допустимая температура нагрева материала, пожаро-взрывоопасные свойства), часто играющие роль ограничивающих параметров при выборе методов сушки и конструкции аппарата.

На базе комплексного анализа влажных материалов существует несколько методов классификации материалов как объектов сушки. В частности, влажные дисперсные материалы можно характеризовать по технологическим свойствам (допустимая температура нагрева, токсичность, взрывоопасность), по агрегатному состоянию (твердые, пастообразные, суспензии, растворы) и по химическому составу. В связи с тем, что указанных признаков для выбора рационального типа сушильного агрегата мало, выделяют классификацию материалов по типу теплофизических задач (посредством характеристических чисел  $Bi$ ,  $Bi'$ ,  $Fo$ ,  $Fo'$ , рекомендуя для каждого класса продуктов соответствующие сушильные аппараты) [1], [3].

Аналогичным образом можно разделить задачи межфазного тепло- и массообмена на внешние, внутренние и балансовые, разграничивая при этом по значениям числа  $Bi$  (теплового и диффузионного), соответственно при  $Bi$ ,  $Bi' > 20$  – задача считается внутренней, при  $Bi$ ,  $Bi' < 0,1$  – внешней.

Недостаток указанной классификации заключается в том, что определяющие параметры (температуропроводность, коэффициенты термодиффузии, тепло- и массообмена) зависят не только от природы материала, но и от конкретного метода и режима обработки [4], [5].

Существует классификация по формам и энергиям связи влаги с материалом [4],

[5], но она не позволяет определить целесообразный тип аппарата и время сушки.

Наиболее полно отразить свойства влажных материалов как объектов сушки позволяет классификация по сорбционно-структурным характеристикам с учетом видов и энергии связи влаги с материалом и его адгезионно-аутогезионных свойств [4], [5].

Т а б л и ц а 1

Класс материалов	Критический диаметр пор $d_{кр}$ , нм	Группа пор	$K_a$	Характеристика пористой структуры материала и вида связи влаги	Продолжительность сушки во взвешенном слое
I	более 100	0	2 – 3	Непористые материалы со свободной влагой	0,5 – 2,0 с
II	100 – 8	1	2 – 4	Широкопористые материалы со слабо связанной влагой (испарение из жидкой пленки)	3,0 – 10 с
III	8 – 6	2	2 – 3	Высоковлажные материалы с переходными порами со свободной и связанной влагой (кнудсеновская диффузия)	10 – 40 с
IV	6 – 4	3	2 – 3	Тонкие поры со свободной и связанной влагой (кнудсеновская и поверхностная диффузия)	0,5 – 2 мин
V	4 – 2	4	до 2	Микропоры со связанной влагой (поверхностная диффузия)	2 – 20 мин
VI	менее 2	5	до 2	Ультрамикропоры, соизмеримые с размером молекул (твердотельная диффузия)	20 – 40 мин

Нами предлагается новая классификация дисперсных материалов по сорбционно-структурным характеристикам, представленная в табл. 1, в соответствии с которой материалы делятся на шесть групп.

*Первую группу* составляют макропористые и непористые материалы, а последующие 5 групп соответствуют классификации пор по диаметрам. Примеры материалов первой группы – сополимер стирола с дивинилбензолом, полистирол ПС-СУ<sub>2</sub>.

*Вторую группу* составляют материалы с порами диаметром от 100 до 8 нм. В порах такого диаметра основным механизмом переноса является испарение жидкости пленки со стенок капилляров; перенос пара осуществляется под действием кнудсеновской диффузии. Поверхностная диффузия не вносит ощутимого вклада в процесс переноса и составляет не более 4% от

общего потока влаги при  $d=10$  нм, а при  $d=5$  нм составляет примерно 13,5%. Примеры материалов второй группы – сополимер стирола МС, сополимер формальдегида.

*К третьей группе* относятся материалы, имеющие поры диаметром от 8 до 6 нм. Основным механизмом переноса в этой группе является кнудсеновская диффузия, доля которой существенно зависит от диаметра пор, и поверхностная диффузия, вклад которой в общий поток жидкости становится все более ощутим. Примеры материалов третьей группы – поливинилхлорид, сополимер А-15.

*Четвертую группу* составляют материалы с порами диаметром от 6 до 4 нм; в этой группе основным механизмом переноса являются также кнудсеновская и поверхностная диффузии. Примеры материа-

лов четвертой группы – сополимер стирола МСН, сополимер ВХВД-40.

В материалах *пятой группы*, содержащих микропоры ( $d=4-2$  нм), вклад поверхностной диффузии весьма существенный и при  $d=2$  нм может составлять 80% от общего потока массы. Скорость сушки падает вследствие меньшей скорости передвижения жидкости в жидкой пленке по сравнению с переносом ее по поровым каналам в виде пара. Примеры материалов пятой группы – полиолефины (полиэтилен, полипропилен).

Наконец, *шестую группу* составляют материалы, содержащие ультрамикропоры, то есть поры, диаметр которых соизмерим с размером молекул удаляемой жидкости. В ультрамикропорах диффузия пара весьма затруднена и не является уже ни кнудсеновской, ни поверхностной (это уже твердотельная диффузия). Примеры материалов шестой группы – катионитная смола КУ-2, анионитная смола ЭДЭ-10П, полиамидные смолы, полиэтилентерефталат (ПЭТФ).

Учет адгезионно-когезионных свойств материалов в табл. 1 осуществляется через величину адгезионно-аутогезионного коэффициента  $K_a$ , который может изменяться от 1 (идеально сыпучие материалы, например, песок в песочных часах) до 5 (практически несипучие, часто пастообразные материалы, например, мокрая глина).

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены основные характеристики дисперсных волокнообразующих полимеров как объектов сушки во взвешенном слое. Отмечена решающая роль сорбционно-структурных характеристик.

2. Предложена новая классификация влажных дисперсных волокнообразующих полимеров по сорбционно-структурным характеристикам с учетом адгезионных свойств высушиваемых материалов, позволяющая по месту материала в классификационной таблице определить требуемое время сушки во взвешенном слое.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Лыков А.В.* Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.
2. *Сажин Б.С., Сажин В.Б.* Научные основы техники сушки. – М.: Наука, 1997.
3. *Романков П.Г., Рашковская Н.Б.* Сушка во взвешенном состоянии. – Л.: Химия, 1979.
4. *Сажин В.Б., Сажина М.Б.* Выбор и расчет аппаратов с взвешенным слоем. – М., 2001.
5. *Сажин В.Б., Сажина М.Б.* Сушка в закрученных потоках: теория, расчет, технические решения. – М., 2001.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 30.03.07.