

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ СУШКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.К. Протасов*¹, А.А. Боровик², Н.П. Матвейко¹

¹Белорусский государственный экономический университет,

²Белорусский государственный технологический университет

Рассмотрены методы определения скорости сушки материалов и дана их оценка. Для дисперсных материалов обоснованно выбран метод опытного определения скорости сушки по параметрам сушильного агента. Приведена последовательность расчета изменяющегося влагосодержания дисперсного материала в процессе сушки. Описаны условия сушки и изображены опытные кривая сушки и кривая скорости сушки. Получены скорости сушки в первом периоде при различных скоростях сушильного агента.

На практике для определения скорости сушки в конвективной сушилке используют опытные кинетические кривые. Навеску влажного материала помещают на весы, расположенные в сушилке. Убывающую массу материала фиксируют через определенные промежутки времени. Для каждого замера рассчитывают влагосодержание материала. Затем строят зависимость влагосодержания от времени – кривую сушки. На кривой сушки выделяют участок, когда влагосодержание материала меняется по прямолинейной зависимости. Этот участок называют периодом постоянной скорости сушки. Второй участок кривой сушки, где влагосодержание материала уменьшается по линии, приближающейся к горизонтали, называют периодом падающей скорости сушки. Скорость сушки определяют разбивая кривую сушки на равные по времени участки с последующим делением величины убыли влагосодержания на величину отрезка времени. Затем строят зависимость скорости сушки от влагосодержания материала – кривую скорости сушки. С помощью кривой скорости сушки находят величину постоянной скорости сушки в первом периоде, критическое и равновесное влагосодержание материала. Определяют константу скорости сушки во втором периоде, после чего рассчитывают продолжительность сушки в первом и во втором периодах и общее время сушки материала [1].

В промышленных условиях сушка дисперсных материалов осуществляется в ленточных,

туннельных и шахтных сушилках. В этих конструкциях сушильный агент проходит сквозь неподвижный слой частиц. В лабораторных условиях для определения скорости сушки дисперсных материалов сушильный агент пропускают через сушилку снизу вверх. Внутри ее находится неподвижный слой материала на решетке, которая подвешена на весах. С течением времени измеряют вес слоя. Сложность определения массы влаги, удаленной из материала, заключается в том, что очень трудно учитывать аэродинамическое воздействие потока сушильного агента на показания весов [2].

С целью упрощения методики определения скорости сушки, и для учета гидродинамических особенностей работы конвективной сушилки, предложено определять влагосодержание материала по параметрам сушильного агента. Проходя через слой высушиваемого материала сушильный агент увеличивает свое влагосодержание. С помощью уравнения материального баланса по известному влагосодержанию сушильного агента до и после слоя определяют влагосодержание материала. Опытные значения этого метода существенно зависят от быстродействия и точности приборов для измерения параметров сушильного агента [2].

Рассмотрим сушку дисперсного материала в вертикальной конвективной сушилке с горизонтальной опорной решеткой, на которой расположен слой высушиваемого материала. Сухой материал предварительно взвешен, а потом увлажнен до определенного влагосодержания. Снизу через слой проходит с заданным

*E-mail: Semenprotas@mail.ru.

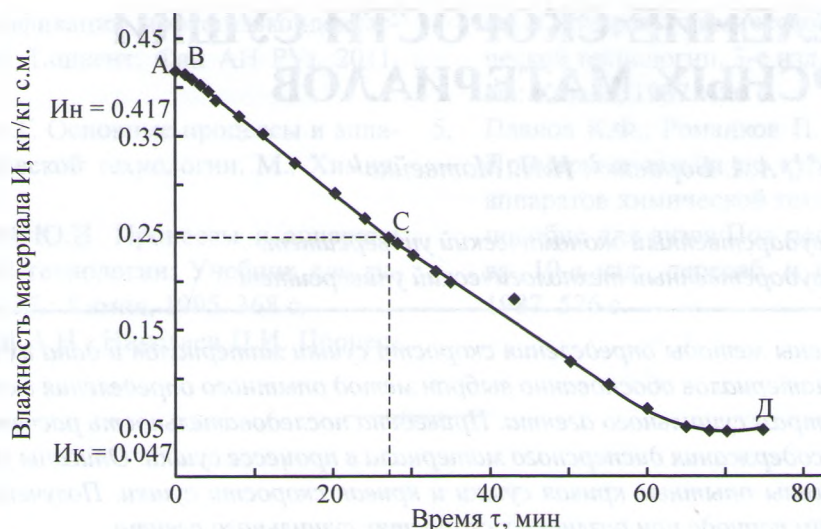


Рис. 1. Кривая сушки.

расходом подогретый воздух при постоянной температуре на входе в слой. Влажность воздуха до и после слоя фиксируется с помощью приборов в определенные промежутки времени.

По известному расходу и влажностному содержанию воздуха определяется количество удаленной влаги за первый промежуток времени.

$$W_1 = L_{с.в} (x_{к1} - x_{н1}) \cdot \tau_1, \quad (1)$$

где W_1 – количество удаленной влаги из материала, кг; $L_{с.в}$ – расход сухого воздуха, кг/с; $x_{н1}$, $x_{к1}$ – влажность воздуха перед и после слоя, кг/кг с.в; τ_1 – первый промежуток времени, с.

Тогда влажность материала для первого промежутка времени

$$U_1 = \frac{W_L - W_1}{G_{с.м}}, \quad (2)$$

где U_1 – влажность материала в первый промежуток времени, кг/кг с.м; W_L – количество влаги в материале до сушки, кг; $G_{с.м}$ – количество сухого материала, кг.

Влажность материала в последующие промежутки времени рассчитывается по формуле:

$$U_i = \frac{W_L - \sum_{n=1}^i W_n}{G_{с.м}}, \quad (3)$$

где $\sum_{n=1}^i W_n$ – суммарное количество удаленной влаги, кг.

По результатам опытов и расчетов строит-

ся кривая сушки, то есть графическая зависимость влажностного содержания материала от времени сушки.

Для получения скорости сушки материала в любой точке кривой сушки проводится касательная, тангенс угла наклона которой равен скорости сушки.

Опыты проводили в сушилке диаметром $64 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве дисперсного материала использовали силикагель со средним диаметром частиц $3 \cdot 10^{-3}$ м. Температура воздуха на входе в слой материала поддерживалась равной 60°C . Схема лабораторной установки и ее описание представлена в работе [3]. Скорость воздуха на полное сечение сушилки изменяли от 0.17 до 0.678 м/с. Перед каждым опытом навеску сухого материала взвешивали, а затем увлажняли до $\sim 42\%$ (кг/кг с.м).

На рисунке 1 изображена опытная кривая сушки при скорости воздуха 0.42 м/с.

Точка С на кривой разграничивает первый и второй периоды сушки. Координата этой точки на оси ординат соответствует критическому значению влажностного содержания материала: $U_{кр} = 0.25$ кг/кг с.м. Значение на оси абсцисс равно опытному времени сушки в первом периоде: $\tau_1^{оп} = 27$ мин = 1620 с. Точка Д указывает на окончание сушки, а ее координата на оси ординат соответствует конечному влажностному содержанию материала: $U_k = 0.047$ кг/кг с.м. Координата на оси абсцисс соответствует опытному общему времени сушки $\tau^{оп} = 75$ мин. По линии АВ материал прогревается до температуры сушки. Тангенс угла наклона прямой ВС к оси

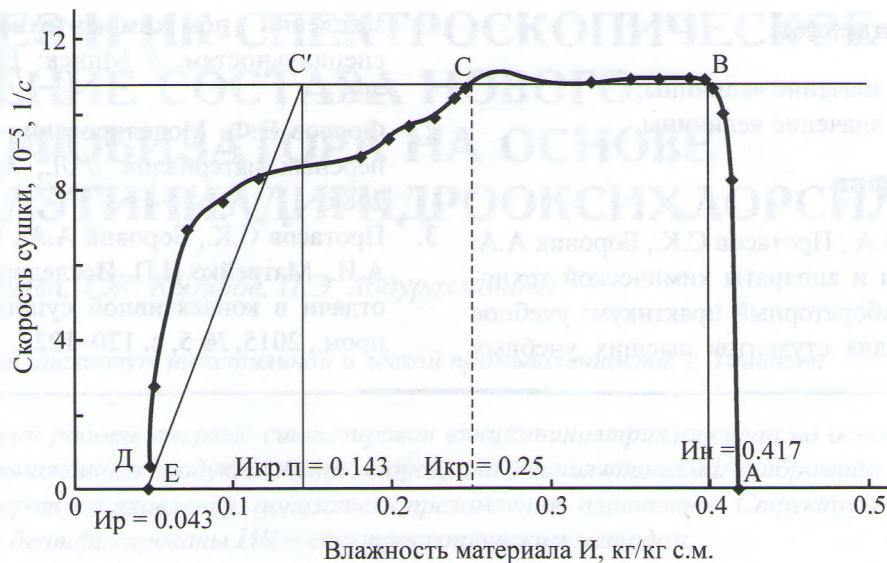


Рис. 2. Кривая скорости сушки.

абсцисс дает значение скорости сушки в первом периоде $N_1 = 10.8 \cdot 10^{-5} \text{ 1/с}$.

Путем графического дифференцирования опытной кривой сушки получена кривая скорости сушки, которая представлена на рисунке 2.

Горизонтальная линия BC определяет первый период сушки, при котором скорость сушки постоянна и соответственно равна $N_1 = 10.75 \cdot 10^{-5} \text{ 1/с}$. Пересечение кривой второго периода с осью абсцисс дает точку E, которая соответствует равновесному влагосодержанию материала $U_p = 0.043 \text{ кг/кг с.м}$. Путем замены опытной кривой во втором периоде на прямую, проведенную из точки E, получена приведенная критическая точка C'. Эта точка на оси абсцисс дает значение приведенного критического влагосодержания материала $U_{кр.пр} = 0.143 \text{ кг/кг с.м}$.

Полученные опытные данные, для скорости сушки в первом периоде в зависимости от скорости воздуха в сушилке представлены в таблице.

Заключение. Опытным путем, используя параметры сушильного агента, получены кривая сушки и кривая скорости сушки. Эти кривые позволяют определять скорость сушки в любое время проведения процесса. Зависимость скорости сушки в первом периоде от ско-

рости сушильного агента показывает, что с увеличением скорости прохождения сушильного агента через слой высушиваемого дисперсного материала за счет конвекции ускоряется процесс сушки.

Условные обозначения

- W – количество влаги, удаленной из материала, кг;
- L – расход воздуха, кг/с;
- x – влагосодержание воздуха, кг/кг с.в;
- τ – время сушки, с;
- U – влажность материала, кг/кг с.м;
- W_L – количество влаги в материале перед сушкой, кг;
- G – количество материала, кг;
- w – скорость воздуха, м/с;
- N – скорость сушки, 1/с.

Нижние индексы:

- с.в – сухого воздуха;
- с.м – сухого материала;
- н, к – на входе и на выходе из слоя (начальное и конечное значение);
- I, II – первый и второй периоды сушки;
- р – равновесное значение;
- кр – критическое значение;
- пр.кр – приведенное критическое значение.

Таблица. Зависимость скорости сушки в первом периоде от скорости воздуха в сушилке.

$W_1, \text{ м/с}$	0.17	0.26	0.42	0.55	0.678
$N \cdot 10^5, \text{ 1/с}$	4.7	7.6	10.8	17.5	24.0

Верхние индексы:

оп – опытное значение величины;

р – расчетное значение величины.

Библиография

1. Марков В.А., Протасов С.К., Боровик А.А. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: учебное пособие для студентов высших учебных заведений по химико-технологическим специальностям. // Минск: БГТУ, 2011, 206 с.
2. Фролов В.Ф. Моделирование сушки дисперсных материалов. // Л., Химия, 1987, 208 с.
3. Протасов С.К., Боровик А.А., Вилькоцкий А.И., Матвейко Н.П. Исследование массоотдачи в конвективной сушилке. // Хим. пром., 2015, № 5, с. 120–122.