

КИНЕТИКА СУШКИ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.К. Протасов*, Н.П. Матвейко, А.А. Боровик

Белорусский государственный экономический университет, г. Минск

Выполнен анализ экспериментальных методов получения кинетики сушки дисперсного материала, который находится в слое и фильтруется сушильным агентом. Установлено, что при использовании метода взвешивания слоя дисперсного материала, возникает ряд трудностей. С целью упрощения лабораторной установки и оптимизации исследований, предложен метод определения кинетики сушки по параметрам сушильного агента. Экспериментально определены кинетические кривые сушки силикагеля методом взвешивания и по параметрам сушильного агента (воздуха). Исследования выполнены при одинаковых условиях на одной и той же установке. Приведены кривые сушки и кривые скорости сушки, полученные обоими методами. Опытные данные подтверждают адекватность метода с использованием параметров сушильного агента методу взвешивания.

Ключевые слова: конвективная сушка, дисперсные материалы, фильтруемый слой, кинетика сушки, метод взвешивания и по параметрам сушильного агента.

Введение. Сушка дисперсных материалов осуществляется в конвективных сушилках, в которых сушильный агент непосредственно контактирует с влажным материалом, профильтровывая его слой. Сушильный агент нагревает влажный материал и влага испаряется с его поверхности. Происходит тепло- и влагообмен между частицами высушиваемого материала и сушильным агентом. Этот процесс называют внешним тепло- и массообменом, который зависит преимущественно от параметров сушильного агента и свойств материала.

Испарение влаги создает разность влагосодержания на поверхности и внутри материала. Благодаря этой разности влага перемещается из внутренних слоев к поверхности материала. Это перемещение влаги определяется внутренним тепло- и массообменом и зависит в основном от физико-химических свойств материала.

При конвективной сушке материал нагревается от сушильного агента. Следовательно, температура поверхности материала больше температуры внутренних слоев. В результате внутри материала образуется температурный градиент, направленный в сторону противоположную движению влаги и препятствующий ее перемещению. [1].

Суммарный результат внешнего и внутреннего тепло- и массообмена и температурного градиента определяет скорость удаления влаги из материала, то есть кинетику сушки. Данные по кинетике сушки получают чаще всего экспериментально, потому что опытная информация учитывает сложную совокупность всех факторов, оказывающих влияние на скорость сушки. В процессе исследования температуру, влагосодержание и скорость движения теплоносителя поддерживают постоянными. Экспериментальные методы исследования кинетики основаны на взвешивании навески высушиваемого материала в процессе сушки. Изменение массы материала за определенный промежуток времени позволяет рассчитать количество удаленной влаги. По отношению разности масс влажного и сухого материала к массе сухого материала определяют его влагосодержание [2–4].

При применении метода взвешивания для изучения сушки слоя дисперсного материала возникает ряд трудностей. Во-первых, слой исследуемого материала в процессе сушки невозможно взвешивать. Во-вторых, при отборе пробы из слоя определить среднее по объему влагосодержание материала с достаточной точностью затруднительно. В-третьих, постоянный отбор проб нарушает изначальные условия сушки за счет уменьшения высоты слоя материала.

*E-mail: Semenprotas@ail.ru.

Для упрощения лабораторной установки и оптимизации исследований, нами предложен метод определения кинетики сушки по параметрам сушильного агента [5, 6]. С этой целью периодически измеряют перед слоем дисперсного материала и после него температуру и относительную влажность сушильного агента, по которым рассчитывают влагосодержание сушильного агента. Известный расход и влагосодержание сушильного агента до и после слоя, а также время между замерами и уравнение материального баланса позволяют рассчитать количество удаленной влаги из дисперсного материала. Разность между массой материала предыдущего измерения и массой удаленной влаги дает массу материала в момент замера. Отношение разности массы материала в момент замера и массы сухого материала к массе сухого материала является средним по объему влагосодержанием слоя в момент измерения.

Основная часть. Адекватность нового метода проверена путем исследования кинетики сушки дисперсного капиллярно-пористого материала одновременно методом взвешивания и по параметрам сушильного агента. Опыт проводили в горизонтальной сушилке при внешнем обтекании навески влажного материала сушильным агентом, чтобы создать условия непрерывного взвешивания материала и измерения параметров сушильного агента.

На рисунке 1 представлена схема установки для исследования кинетики сушки дисперсного капиллярно-пористого материала двумя методами.

Атмосферный воздух подается вентилятором 11 через ротаметр 10 и калорифер 9 в сушилку 1, а затем выбрасывается обратно в атмосферу. Температура и относительная влажность воздуха на входе и выходе из сушилки измеряется датчиками 4, 5 и термогигрометрами 6, 7. Масса влажного материала в процессе сушки измеряется весами 8.

В качестве капиллярно-пористого материала использовали силикагель со средним диаметром частиц 0.003 м. Диаметр сушилки равен 0.145 м. Средняя скорость воздуха в сушилке составляла 0.42 м/с. Показания весов и термогигрометров снимали через каждые 5 минут. Исследования проводили при температуре воздуха на входе в сушилку 60°C. Перед проведением опытов навеску силикагеля предварительно высушивали в сушильном шкафу до постоянной массы 0.03047 кг, которую принимали как массу сухого материала. Затем ее увлажняли водой до начального влагосодержания 0.353 кг/кг сухого материала (с.м.). При достижении на входе в сушилку заданной температуры воздуха (60°C), навеску влажного материала через специальный люк в сушилке помещали на решетку 2. Засекали время начала опыта и измеряли массу материала и параметры воздуха. Опыт заканчивали, когда масса навески не изменялась в течение 3-х замеров.

По полученным массам влажного материала для каждого замера рассчитывали разность между массой влажного и сухого материала. Влагосодержание определяли в виде отношения этой разности к массе сухого материала.

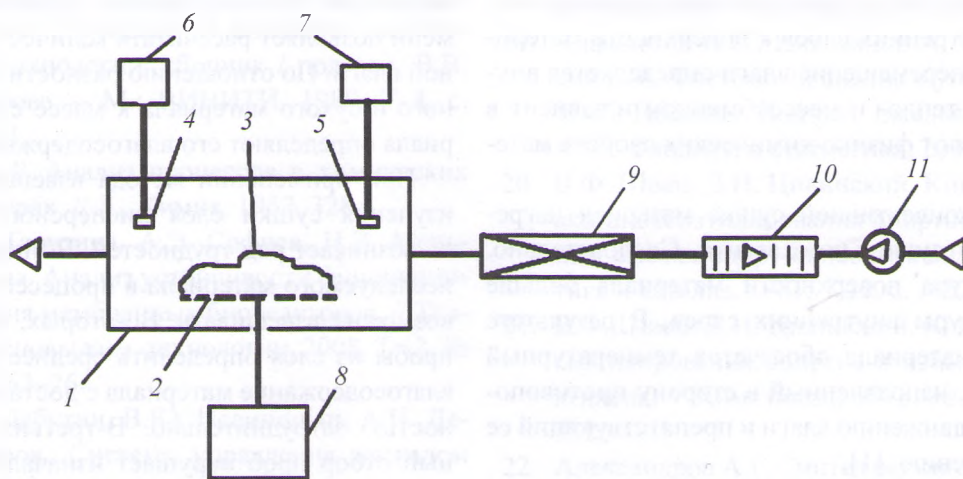


Рис. 1. Схема установки. 1 – сушилка; 2 – решетка; 3 – высушиваемый материал; 4, 5 – датчики; 6, 7 – термогигрометры; 8 – весы; 9 – калорифер; 10 – ротаметр; 11 – воздуходувка.

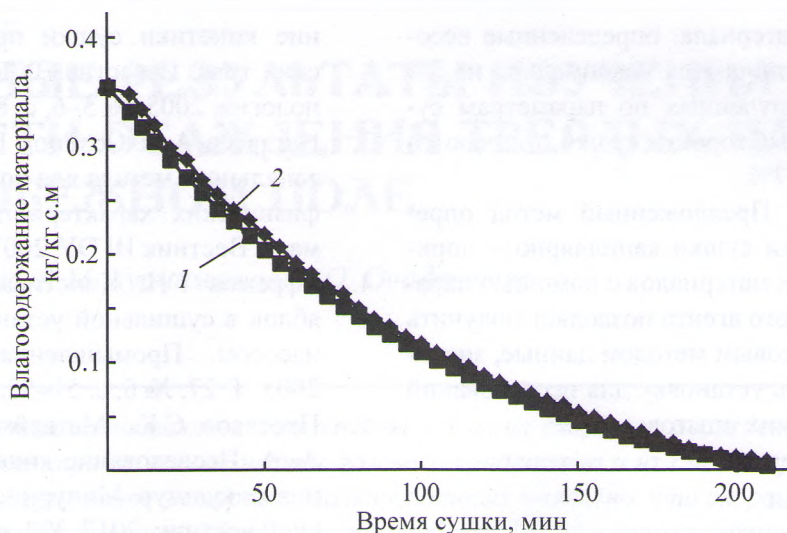


Рис. 2. Кривые сушки: 1 – весовой метод; 2 – по параметрам воздуха.

Для определения скорости сушки рассчитывали разность влагосодержания между соседними замерами и делили ее на постоянный интервал времени 300 секунд (5 минут). По данным влагосодержания силикагеля, времени сушки и скорости сушки строили кинетические кривые (кривую сушки и кривую скорости сушки).

Для расчета этих же кинетических кривых другим методом использовали только параметры сушильного агента (воздуха): относительную влажность и температуру на входе и выходе из сушилки. Используя эти параметры, по формуле (4), приведенной в работе [5], рассчитывали влагосодержание воздуха на входе и на выходе из сушилки. С помощью уравнения (5) (см. работу [5]) рассчитывали массу удаленной влаги из материала для каждого замера. Вычитая из массы влажного материала предыдущего

замера массу удаленной влаги, получали массу материала следующего замера. Затем по аналогии с весовым методом определяли влагосодержание материала и скорость сушки.

Опытные данные представлены в виде кривых сушки на рисунке 2 и кривых скорости сушки на рисунке 3.

Анализ полученных кинетических кривых показывает, что при сушке капиллярно – пористых дисперсных материалов в неподвижном слое, который омывается сушильным агентом со средней скоростью 0.42 м/с, удаление влаги осуществляется в основном во втором периоде (области убывающей скорости сушки). Характер изменения кривых сушки и кривых скорости сушки, полученных весовым методом и по параметрам сушильного агента, практически не отличается. Абсолютные величины вла-



Рис. 3. Кривые скорости сушки: 1 – весовой метод; 2 – по параметрам воздуха.

госодержания материала, определенные весовым методом, отличаются максимально на 5% от значений, полученных по параметрам сушильного агента. Скорости сушки отличаются максимально на 7%.

Заключение. Предложенный метод определения кинетики сушки капиллярно – пористых дисперсных материалов с помощью параметров сушильного агента позволяет получить адекватные с весовым методом данные, значительно упростить установку для исследований и проведение самих опытов.

Библиография

1. Киселев Т.Ф. Технология сушки: Учебно-методический комплекс. Кемерово, 2007, 117 с.
2. Шуляк В.А., Давидович Д.В. Исследование кинетики сушки пряно-ароматических трав. Известия ВУЗов. Пищевая технология. 2005, № 5–6, с. 86–87.
3. Натареев А.С. Созинов В.П. Применение зонального метода для определения теплофизических характеристик пластических масс. Вестник ИГЭУ. 2007, вып. 4, с. 1–2.
4. Ефремов Г.И. Кинетика сушки нарезки яблок в сушильной установке с тепловым насосом. Промышленная теплотехника. 2005, Т. 27, № 6, с. 51–55.
5. Протасов С.К., Матвейко Н.П., Боровик А. А. Исследование кинетики сушки зерновых культур. Мичуринский агрономический вестник. 2017, №2, с. 153–162.
6. Протасов С.К., Боровик А.А., Матвейко Н.П. Определение скорости сушки дисперсных материалов. Химическая промышленность, 2017, №3. с. 151–154.