

Секція: Технічні науки

Сажин Виктор Борисович

доктор технических наук, профессор, академик, директор

Российский инвестиционно-инновационный фонд

«Научная Перспектива»

г. Москва, Россия

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛАЖНЫХ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Сушка дисперсных материалов является заключительным процессом технологической цепочки, часто определяет вид, качество и потребительскую ценность полученного продукта. Сушка – один из наиболее энергоёмких процессов химической технологии, составляет до 80% всех энергозатрат химического предприятия и во многом определяет энергоэффективность организации производства. В силу различных причин в России и странах на постсоветском пространстве промышленное производство, включая химическую, текстильную и смежные отрасли, существенно сократилось. В ряде случаев недоиспользование промышленного оборудования (ранее выпускавшегося серийно) составляет на предприятиях до 90%. Номенклатура подлежащих сушке материалов только в химической промышленности составляет сотни тысяч наименований (а есть ещё и лесопереработка и производство конструкционных материалов, сельскохозяйственная и фармацевтическая отрасли, производство продуктов питания и т.д.), причём, есть потребность в сушке новых материалов (ранее в промышленном переделе не участвовавших). В отсутствие госзаказа и нарушенных

производственно-потребительских связей даже некогда крупные предприятия остро нуждаются в новых заказах. Вместе с тем, разрушение системы ЦЗЛ (центральных заводских лабораторий) и системы отраслевых научно-исследовательских институтов (центров, лабораторий и т.д.) не позволяет провести необходимые исследования для определения характеристик подлежащих сушке материалов и разработки технологического процесса (включая расчёт технологических параметров, выбор и расчёт основного и вспомогательного оборудования) [1, с. 448; 2, с. 506; 3, с. 776].

Нами с сотрудниками разработана стратегия выбора рационального состава промышленных сушильных установок на недоиспользуемой элементной базе промышленных предприятий. Из примерно четырёхсот важных характеристик материалов выбраны несколько десятков наиважнейших (определяющих технологию и аппаратное оформление процесса сушки), разработана не имеющая близких аналогов классификация материалов как объектов сушки, проведено изучение существующих гидродинамических режимов (включая ряд неизвестных режимов, открытых нами) и разработана новая классификация гидродинамических режимов с привязкой к наиболее распространённым, некогда выпускаемым серийно промышленным аппаратам, включая разработанные нами (и выпускаемые серийно) многофункциональные эффективные аппараты с встречными закрученными потоками, в которых одновременно протекают различные процессы (сушка, грануляция, диспергирование, сепарация, обеспыливание и т.д.). Мы открыли, обосновали и показали, что на основании лишь двух характеристик материала - критического диаметра (размера наиболее тонких пор, из которых по технологическим соображениям требуется удалить влагу) и коэффициента когезионно-аутогезионного взаимодействия – можно отнести материал в определённое место классификации материалов как объектов

сушки и по его местоположению сразу рекомендовать наиболее рациональный гидродинамический режим и реализующий его оптимальный технологический аппарат. По заданной заказчиком производительности определяется типоразмер аппарата, а также основная и вспомогательная аппаратура промышленной сушильной установки.

Рассмотрим рекомендуемый нами метод (из многих существующих) для определения теплофизических характеристик дисперсных материалов как объектов сушки. При использовании импульсного метода плоского источника тепла требуется довольно точная фиксация времени, соответствующего максимальной температуре в сечении, где установлена термопара. Этот максимум, в случае плохих проводников тепла очень пологий, и экстремальные значения соизмеримы со случайными выбросами отдельных точек [3, с. 776].

Разработанная экспериментальная установка учитывает особенности влажных дисперсных материалов как объектов теплофизических измерений. В ней предусмотрено использование как импульсных, так и монотонных нагревателей. Длительность теплового импульса с высокой точностью автоматически может регулироваться в пределах от 0,1 до 1 с, что позволяет достаточно точно учесть количество подводимого к материалу тепла. Более длительные импульсы формируются вручную. В измерительной ячейке предусмотрено использование до шести термопар, подключаемых поочередно к измерительному оборудованию. Для регистрации показаний приборов применен фотографический метод. Показания всех приборов выдаются в цифровой форме: это устраняет параллакс, неизбежный при одновременной съемке нескольких стрелочных приборов, улучшается и разрешающая способность считывания. Очень низкие требования к фотографическому изображению цифр, по сравнению с изображением

стрелок и шкал, позволяют обрабатывать отснятый материал экспресс-методом. Применяемая для съемки показаний регистрирующая фотокамера РФК-5 может работать в непрерывном режиме со скоростью 10 кадров в секунду, в ручном режиме, а также в ждущем режиме по сигналу компараторов блока управления. Структурно установка подразделяется на четыре части: измерительная ячейка с нагревателем и термопарами, усилительно-регистрирующая часть, а также блок управления, осуществляющий взаимосвязь и взаимодействие входящих в состав установки приборов и блок питания. Функциональная схема установки представлена на рис. 1. Исследуемый материал обрабатывается в измерительной ячейке 1 - прямоугольном сосуде размерами 90x60x70 мм. Посредине ячейки расположен плоский нагреватель 3. Нагреватель - текстолитовая пластинка толщиной 0,3 мм. По всей длине пластинки, за исключением крайних областей шириной 5 мм, намотана нагревательная спираль - эмалированная проволока толщиной 0,1 мм. Для нагревателей, формирующих тепловые импульсы длительностью до 1 с, применялась медная проволока общим сопротивлением 50 Ом, а для нагревателей, формирующих более длительные импульсы, - константановая, общим сопротивлением 10 кОм.

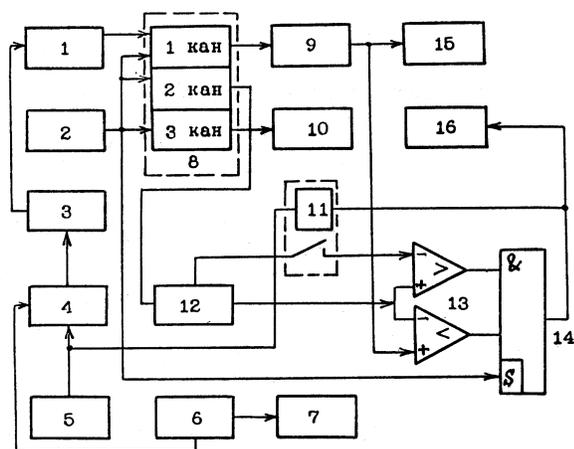


Рис. 1 Функциональная схема установки, для определения теплофизических характеристик дисперсных материалов:
 1 - измерительная ячейка; 2 - формирователь тактирующих импульсов; 3 - нагреватель; 4 - блок тиристоров; 5 - блок питания; 6 - формирователь пускового импульса; 7 - электронный секундомер; 8 - трехканальный коммутатор; 9 - предварительный усилитель; 10 - цифровой индикатор; 11 - реле; 12 - запоминающее устройство; 13 - компараторы; 14 - схема совпадения; 15 - цифровой вольтметр; 16 - регистрирующая фотокамера

Чтобы обеспечить требуемую механическую прочность, нагревательная спираль пропитывалась эпоксидной смолой. В центре нагревателя расположена термопара, еще две термопары расположены в слое исследуемого вещества против центра нагревателя. Все термопары медь-константановые, сварены из проволоки диаметром 0,1 мм. Диаметр королька после сварки не превышал 0,1 мм, это обеспечивало достаточно низкую инерционность термопар. При градуировке термопар была получена линейная зависимость термо-э.д.с. от температуры: $E = 37,7 t - 674$ (мкВ). Отклонение опытных данных от градуировочной зависимости в пределах одного опыта и от термопары к термопаре не превышало 0,4%. Все холодные спаи термопар выведены на общую колодку, расположенную в климатической камере, оттуда по экранированному кабелю сигнал поступает на вход предварительного усилителя 9. Измерительная ячейка вместе с вибратором, при помощи которого достигается нужная степень уплотнения слоя, помещена в климатическую камеру, которая защищает от колебаний воздуха в помещении. Ввиду кратковременности процесса измерения, этого оказалось достаточным для термостабилизации термопар. Прецизионный усилитель 9 усиливает сигнал термопар в 1000 раз. Усиленный сигнал поступает на вход цифрового показывающего прибора 15, а также на вход блока управления для запоминания. Энергия к нагревателю 3 подводится от регулируемого источника питания через бесконтактный ключ - блок тиристоров 4. В зависимости от принятого метода измерения, предусмотрена работа тиристорного ключа как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Непрерывный режим устанавливается вручную замыканием управляющих электродов тиристоров на анод. В импульсном режиме блок тиристоров управляется формирователем пускового импульса 6. Пусковой импульс длительностью до 1 с включает тиристорный ключ и одновременно запускает

электронный секундомер 7. Кроме того, прямоугольные импульсы частотой 50 Гц поступают с формирователя пускового импульса на вход формирователя тактирующих импульсов 2, который управляет работой трехканального коммутатора 8 и регистрирующей фотокамеры 16. По первому каналу термопары поочередно подключаются к входу усилителя 11, по второму каналу коммутатора ко входам компараторов подключаются поочередно конденсаторы памяти 12. Третий канал управляет работой цифрового индикатора 10, показывающего номер подключаемой термопары. Коммутатор собран на реле, управляемых транзисторными ключами, которые открываются поочередно под действием сигналов распределителя импульсов формирователя тактирующих импульсов. Компараторы 13 сравнивают значения действующего сигнала и предыдущего, хранящегося в памяти блока. Один из компараторов реагирует на увеличение амплитуды, а другой - на уменьшение. Состояние выходов компараторов меняется, если действующий сигнал изменяется на 10% по сравнению с предыдущим. Изменение выходов компараторов анализируется схемой совпадения 14. Если компараторы отметили изменение сигнала термопары, схема совпадения выдает импульсный сигнал на перезапись памяти и на срабатывание фотокамеры, которая в этот момент фиксирует номер термопары, значение термо-э.д.с. и время с начала измерения.

Нами на основании проведённых исследований доказано, что импульсный метод плоского источника тепла может быть рекомендован в качестве приоритетного при определении теплофизических характеристик дисперсных материалов. В рамках разработанной нами стратегии на основе анализа нескольких граммов материала можно в течение недели разработать технологическую карту для отделения сушки и подобрать необходимую аппаратуру для монтажа сушильной установки [3, с. 776].

Литература

1. Сажин Б.С. Научные основы техники сушки / Б.С. Сажин, В.Б. Сажин. Москва: Наука. 1997. 448 с.
2. V. S. Sazhin and V. B. Sazhin Scientific Principles of Drying Technology. New York. Connecticut-Wallingford (U.K.): Begell House Inc. 2007. 506 p.
3. Сажин Б.С., Сажин В.Б. Научные основы термовлажностной обработки дисперсных и рулонных материалов. М.: Химия, 2012. 776 с., ил.