

УДК 677.076.5

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ СУШКИ НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА
В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ**

**RESEARCH OF THE KINETICS OF NONWOVEN MATERIALS DRYING
IN THE CONDITIONS OF COMPELLED CONVECTION**

Н.М. ШАРПАР, Л.И. ЖМАКИН
N.M. SHARPAR, L.I. ZHMAKIN

(Московский государственный университет дизайна и технологии)
(Moscow State University of Design and Technology)

E-mail: office@msta.ac.ru

Получены результаты экспериментального исследования вынужденной конвекции нетканого текстильного материала при ламинарном режиме, используемого в условиях повышенных температур, так как в этот период проявляется все многообразие процессов теплообмена (одежда). Расчет в условиях пониженных температур предполагается более простым и должен вытекать из общей методики, разрабатываемой для условий жаркого климата как частный случай.

The results of experimental research of nonwoven materials compelled convection under a laminar mode, used in the conditions of elevated temperature, because in that period all the variety of thermal exchange (clothes) processes are displayed. Calculation in the conditions of lower temperature are supposed to be more simple and should be resulted from the general technique, developed for the conditions of hot climate as a special case.

Ключевые слова: конвекция, гидравлическое сопротивление, нетканый материал, сушка.

Keywords: convection, hydraulic resistance, nonwoven material, drying.

Методика исследования заключалась в сквозном просасывании воздуха через нетканый капиллярно-пористый материал за счет создания небольшого перепада давлений в потоке до и после опытного образца. Для этой цели была создана сушильная установка, имевшая разборный цилиндрический рабочий участок, в верхней 3 и нижней 10 частях которого по периферии были плотно закреплены по три термопары 7 и 8, как показано на рис.1.

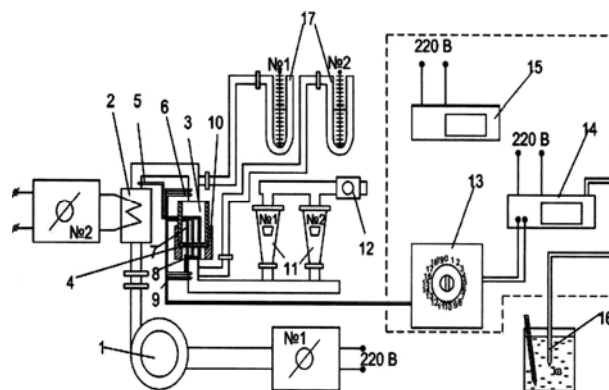


Рис. 1

Исследуемый влажный образец 4 размещался на уступе рабочего участка 13 с закрепленными снизу тремя термопарами 8. Верхняя часть 3 прижимала материал к уступу, в ней также были расположены три термопары 7. Вентилятор 1 создает воздушный поток, проходящий через нагревательный элемент 2, на выходе из которого установлена термопара 5. Далее нагретый воздух проходит через направляющий термостойкий шланг, в котором были установлены две термопары 6 для измерения температуры воздуха до образца перед рабочим участком, а затем просасывается через исследуемый образец. После этого воздух попадает в другой направляющий термостойкий шланг, где установлены еще две термопары 9, измеряющие температуру воздуха на выходе из рабочего участка. Все термопары через переключатель 13 подключены к милливольтметру 14 (В7-21А) для измерения термоЭДС. На стенде были смонтированы два ротаметра 11, предназначенные для измерения расхода воздуха в ламинарном (№1) и турбулентном (№2) режимах. После ротаметров установлен газовый счетчик 12 для измерения расхода воздуха, прошедшего непосредственно через образец. Также на установке имелись два манометра 17 для измерения давления воздуха до и после рабочего участка.

В комплект установки входили также аналитические весы для взвешивания образцов, воздушный термостат для их высушивания, термометр для определения температуры воздуха в помещении и холодной воды, в которой находилась термопара 16, а также частотомер 15 (Ф-5137) для измерения интервалов времени.

В опытах вначале включался вентилятор 1 и печь 2, источниками питания которых служили лабораторные автотрансформаторы. Установка выходила на заданный температурный режим. Исследуемый образец материала взвешивался и устанавливался в рабочем участке. Затем включался вентилятор 1 и секундомер. Через заданный интервал времени регистрировались температуры и давление до и после рабочей ячейки, а также находился расход

воздуха при помощи газового счетчика 12 на выходе из нее. В процессе опыта частотомер 15 ставили на паузу, образец доставали, взвешивали и затем обратно укладывали в рабочий участок, включая частотомер 15. Операции повторяли до достижения заданной массы образца или его постоянной массы.

Таким образом, методом фильтрации воздуха была экспериментально исследована сушка образцов грубошерстного, полугрубошерстного и тонкошерстного войлока толщиной 10, 8 и 5 мм соответственно.

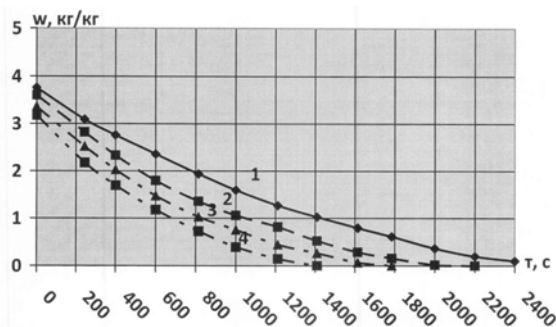


Рис. 2

Проанализировав кривые сушки на рис. 2 для образца войлока $\delta = 5$ мм при различных температурах теплоносителя: 1 – $t = 18^\circ\text{C}$, 2 – $t = 37^\circ\text{C}$, 3 – $t = 58^\circ\text{C}$, 4 – $t = 68^\circ\text{C}$, можно сказать, что при повышении температуры от 18 до 58°C время сушки снижается от 800 до 600 секунд.

Проведенный анализ показал, что если повысить температуру процесса до $110...150^\circ\text{C}$, время сушки сократится до $180...200$ секунд. Влияние зависимости влагосодержания от времени при нестационарном процессе для образца войлока 1 – $\delta = 5$ мм, 2 – $\delta = 8$ мм, 3 – $\delta = 10$ мм представлено на рис. 3.

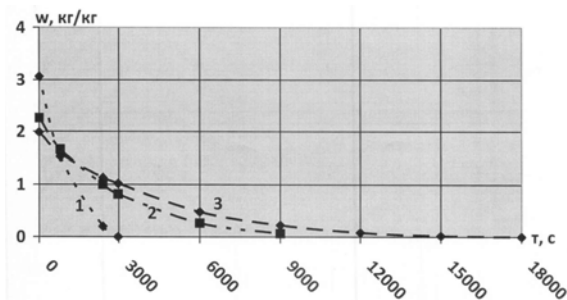


Рис. 3

В работе была предпринята попытка оценить изменение гидравлического сопротивления текстильного материала в процессе сушки, то есть зависимость ΔP от влагосодержания для образцов войлока $\delta=5$ мм при $t=58$ °С (рис. 4).

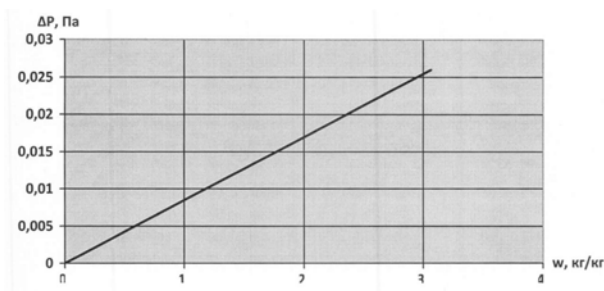


Рис. 4

По оси ординат отложено суммарное гидравлическое сопротивление образца. При сушке образца максимальное гидравлическое сопротивление соответствует началу процесса (максимальному влагосодержанию), которое затем снижается и стабилизируется при равновесном состоянии образца с теплоносителем. Полученные в процессе сушки войлока результаты сведены в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Тонкошерстный войлок, $M_c=1,68$ г, $\delta=5$ мм, $\varepsilon=0,609$	Время сушки материала, с						
		0	400	800	1200	1600	2000	2400
		Температура теплоносителя в процессе сушки ΔT , К						
		273,3	282,9	286	288	302	302,2	307,2
1	Масса высушиваемого образца M , г	6,83	5,56	4,23	3,25	2,85	2,04	1,68
	Влагосодержание w , кг/кг	3,065	2,31	1,52	0,934	0,696	0,214	0
	Гидравлическое сопротивление ΔP , Па	0	0,007	0,016	0,02	0,019	0,025	0,026
2	Полугрубошерстный войлок, $M_c = 4,79$ г, $\delta = 8$ мм, $\varepsilon = 0,607$	Время сушки материала, с						
		0	2000	4000	6000	8000	10000	10800
		Температура теплоносителя в процессе сушки ΔT , К						
		274	278	287	290	294	298	299
	Масса высушиваемого образца M , г	15,59	10,04	7,39	6,07	5,23	4,98	4,79
	Влагосодержание w , кг/кг	2,255	1,096	0,543	0,267	0,092	0,039	0
	Гидравлическое сопротивление ΔP , Па	0	0,002	0,02	0,025	0,031	0,041	0,080
3	Грубошерстный войлок, $M_c=6,59$ г, $\delta=10$ мм, $\varepsilon=0,645$	Время сушки материала, с						
		0	3000	6000	9000	12000	15000	18000
		Температура теплоносителя в процессе сушки ΔT , К						
		273,7	280,3	287,5	290	293,6	297,1	298,1
	Масса высушиваемого образца M , г	19,67	13,10	9,78	8,08	7,143	6,723	6,59
	Влагосодержание w , кг/кг	1,985	0,987	0,484	0,226	0,084	0,020	0
	Гидравлическое сопротивление ΔP , Па	0	0,011	0,02	0,024	0,031	0,044	0,064

ВЫВОДЫ

Проведенное исследование показало высокую эффективность метода фильтрации воздуха для сушки массивных капиллярно-пористых текстильных материалов, предназначенных для изделий различного

бытового и производственного назначения. Время сушки сокращается, по сравнению с классическим конвективным способом, в несколько десятков раз при вполне приемлемом гидравлическом сопротивлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.* Теплопередача. – М.: Энергия, 1975.
2. *Берд Р., Стюарт В., Лайтфут Е.* Явления переноса. – М.: Химия, 1974.
3. *Рудобаишта С.П.* Математическое моделирование процесса конвективной сушки дисперсных

материалов // Известия АН, серия "Энергетика". – 2000, № 4. С. 98...109.

Рекомендована кафедрой промышленной теплоэнергетики. Поступила 26.03.13.
