

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ХЛОПКА-СЫРЦА И ЕГО КОМПОНЕНТОВ**

**EXPERIMENTAL RESEARCH  
OF THERMOPHYSICAL PROPERTIES  
OF THE RAW COTTON AND ITS COMPONENTS**

*A.K. USMANKULOV*  
*A.K.USMANKULOV*

(Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности)  
(Tashkent institute of Textile and Light Industry)  
E-mail: titlpinfo@edu.uz

*Статья посвящена исследованию зависимости теплоемкости хлопко-сырца от влажности материала и температуры сушки. Построены зависимости теплоемкости хлопко-сырца от влажности материала и температуры сушки. Проведен анализ изменения кривых теплоемкости в зависимости от температуры. Показано, что кривые теплоемкости при температуре  $T < 90^{\circ}\text{C}$  можно аппроксимировать прямыми, а при температуре  $T > 90^{\circ}\text{C}$  – квадратичными кривыми. Даны объяснения законам изменения кривых теплоемкости.*

*The article is sanctified to research of dependence of heat capacity of cotton-raw from humidity of material and temperature of drying. Dependences of heat capacity of cotton-raw are built on humidity of material and temperature of drying. The analysis of change of curves of heat capacity is conducted depending on a temperature. It is shown that curves of heat capacity at the temperature of  $T_{on} < 90^{\circ}$  With it is possible to approximate lines, and at the temperature of  $T_{on} > 90^{\circ}$  With - by quadratic curves. Explaining to the laws of change of curves of heat capacity is given*

**Ключевые слова:** хлопок-сырец, теплоемкость, влажность материала, температура сушки.

**Keywords:** cotton-wool, heat capacity, humidity of a material, drying temperature.

Как известно, хлопок-сырец обладает гигроскопическими и капиллярно-пористыми коллоидными свойствами [1...3]. При тепловом воздействии внутри хлопко-сырца возможны все виды молекулярного и молярного переноса влаги и тепла. Процесс переноса тепла во влажных капиллярно-пористых телах связан с процессом переноса влаги, которая внутри тела может быть как в виде жидкости, так и в виде пара. При этом пар в порах находится в термическом и молекулярном равновесии с жидкостью, и поэтому процесс испарение можно рассматривать как паро-

образование в большом сосуде.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования изменения теплоемкости хлопко-сырца и его компонентов в зависимости от температуры и влажности.

Измерение теплоемкости проводилось в вакуумно-адиабатическом калориметре с дискретным вводом [3]. Используется медный герметичный калориметр объемом  $10\text{ см}^3$ . Погрешность определения теплоемкости в интервале температур  $30...150^{\circ}\text{C}$  не более 0,5 %.

Калориметр позволяет измерить не ис-

тинное значение теплоемкости, а среднее значение на температурном интервале  $\Delta T$ :

$$C = \Delta Q / \Delta T,$$

где  $\Delta Q$  – подведенное к образцу конечное количество тепла, Дж;  $\Delta T = T_2 - T_1$  – вызванное этим конечное приращение температуры образца;  $T_1$  и  $T_2$  – температура образца до и после нагрева, К. Значение теплоемкости относят к средней температуре:

$$T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2) / 2.$$

При расчетах различных теплофизических параметров используются значения удельной теплоемкости [4...6]:

$$C = C_{\text{образца}} / m = C_{\text{п}} - C_0 / m,$$

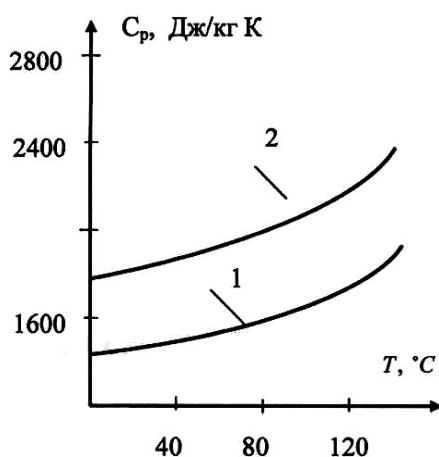


Рис. 1

На рис. 1 и 2 представлены кривые экспериментальных зависимостей удельной теплоемкости хлопка-сырца (рис.1) и опущенных семян (рис. 2). Кривые 1 и 2 на рис. 1 получены при исходной влажности хлопка-сырца 8 и 24%, а на рис. 2 – при влажности опущенных семян 10 и 20% соответственно.

Видно, что в интервале изменения температуры  $30^\circ\text{C} < T < 100^\circ\text{C}$  теплоемкость хлопка-сырца и опущенных семян возрастает линейно, а при температуре свыше  $100^\circ\text{C}$  она резко увеличивается по нелинейным законам. Последнее объясняется изменением структурных свойств соответ-

где  $C_0$  и  $C_{\text{п}}$  – теплоемкость пустого, Дж/К, и заполненного, Дж/кг·К, calorimeter соответственно;  $m$  – масса образца, кг.

Методика проведения эксперимента следующая:

– calorimeter заполняется хлопком-сырцом, хлопковым волокном или семенами и взвешивается на аналитических весах;

– calorimeter помещается под вакуумный колпак и производится откачка в течение 10...20 минут. После откачки calorimeter вновь взвешивается на аналитических весах. Если изменение общей массы в пределах точности аналитических весов, то calorimeter считается герметичным. Далее производятся измерения значений теплоемкости по показаниям соответствующих приборов.

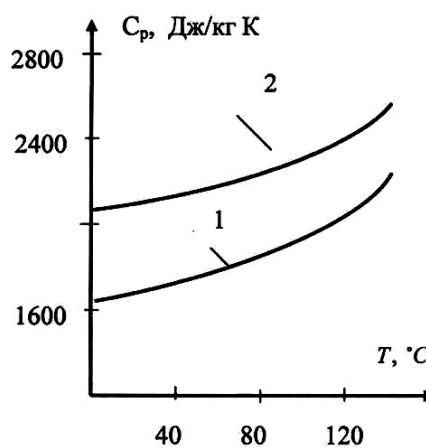


Рис. 2

ствующих материалов при высоких температурах. Изменения удельной теплоемкости хлопка-сырца в температурном интервале  $20...90^\circ\text{C}$  составляет порядка 15%, а в интервале  $20...150^\circ\text{C}$  – более 45%. Этим можно объяснить значительное изменение поведения кривых вблизи точки  $T=100^\circ\text{C}$ , где вода превращается в пар.

Следует отметить, что состояние термодинамического равновесия наступает после завершения внутренних теплообменных процессов, протекающих по-разному в хлопке-сырце и его компонентах.

Анализ кривых, представленных на рис. 1 и 2, показывает, что зависимость

теплоемкости от температуры практически подчиняется квадратичному закону. В связи с этим экспериментальные кривые для теплоемкости хлопка-сырца и опущенных семян в первом приближении можно представить с помощью следующей зависимости [4]:

$$C_p = aT^2 + bT + c, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$  и  $c$  – постоянные коэффициенты, зависящие от влажности  $u$  и определяемые из экстремума функции квадратичного отклонения:

$$S = \sum_{i=1}^N (y_i T_i^2 - bT_i - c)^2,$$

где  $y_i$  – опытные значения теплоемкости при температуре  $T_i$  для фиксированной влажности материала;  $N$  – количество экспериментальных точек.

Относительное расхождение опытных данных теплоемкости с ее значениями, вычисленными по формуле (1), оценивалось по формуле:

$$\Delta_i = \frac{|y_i - aT_i^2 - bT_i - c| \cdot 100\%}{y_i}.$$

Проведенные численно-экспериментальные исследования показали, что формула (1) относительно близкие результаты дает в пределах температуры  $T \leq 90^\circ\text{C}$ . При температуре  $T > 90^\circ\text{C}$  относительное расхождение опытных данных теплоемкости возрастает и принимает значения больше, допустимых.

Кроме того, практическое применение формулы (1) вызывает неудобство, по-

скольку коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  неявно зависят от влажности  $u$ . Поэтому вводим новую формулу, содержащую явную зависимость теплоемкости от влажности:

$$C_p = (k_2 u^2 + k_1 u + k_0)(a^* T^2 + b^* T + c^*), \quad (2)$$

где  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  – постоянные коэффициенты, определяемые опытным путем;  $a^*$ ,  $b^*$  и  $c^*$  – средние значения по влажности постоянных коэффициентов  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

Последнее выражение позволяет устанавливать функциональные зависимости между параметрами температуры, влажности и теплоемкости материалов хлопка-сырца и опущенных семян.

Установлено, что последнее выражение наиболее точно описывает реальную картину зависимости теплоемкости хлопка-сырца и опущенных семян от влажности материалов и температуры сушки.

В табл. 1 и 2 представлены значения постоянных  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $c^*$ ,  $k_2$ ,  $k_1$ ,  $k_0$  и теплоемкости в зависимости от температуры, полученные опытным путем, и результаты расчетов по формулам (1) и (2) для различных значений влажности.

Из табличных данных следует, что в формуле (2) значение постоянной  $k_2$  практически равно нулю, что согласуется с формулой, предложенной в работе [1]. Близкие друг к другу значения имеют коэффициенты  $a$ ,  $b$  и  $c$  при разных влажностях в отдельности для хлопка-сырца и его компонентов, а коэффициенты  $a^*$ ,  $b^*$ , и  $c^*$  имеют близкие значения только для хлопка-сырца и опущенных семян (табл. 1 и 2), что указывает на общий характер изменения их теплоемкости от температуры и влажности.

Таблица 1

a* = -0,0130, b* = 8,561, c* = 1817,86, k <sub>2</sub> = 0, k <sub>1</sub> = 0,01207, k <sub>0</sub> = 0,68										
W = 8%, a = -0,0234, b = 9,3221, c = 1351,81						W = 24%, a = -0,0332, b = 11,06, c = 1624,85				
T°С	Опыт	Формула (1)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Формула (2)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Опыт	Формула (1)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Формула (2)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)
30	1632	1610	1,323	1602	1,835	1912	1926	0,771	2000	4,625
40	1691	1687	0,223	1661	1,747	2047	2014	1,608	2074	1,350
50	1742	1759	0,997	1718	1,329	2101	2095	0,294	2146	2,156
60	1800	1826	1,491	1774	1,433	2152	2169	0,786	2215	0,161
70	1871	1889	0,994	1827	2,321	2219	2236	0,783	2282	0,303
80	1961	1947	0,678	1878	4,187	2289	2297	0,358	2346	0,121
90	2006	2001	0,243	1928	3,880	2340	2351	0,101	2466	0,280
100	2071	2050	1,022	1975	4,611	2401	2399	0,086	2466	0,112
110	2103	2094	0,434	2021	3,910	2464	2440	0,980	2523	1,623
120	2140	2133	0,316	2064	3,550	2483	2474	0,357	2577	4,768
130	2164	2167	0,181	2105	2,715	2499	2502	0,111	2628	5,194
140	2184	2231	0,636	2144	1,811	2511	2522	0,469	2677	6,641

Таблица 2

a* = -0,0242, b* = 8,468, c* = 1709,95, k <sub>2</sub> = 0, k <sub>1</sub> = 0,016, k <sub>0</sub> = 0,75										
W = 10%, a = -0,0285, b = 9,341, c = 1507,74						W = 20%, a = -0,0254, b = 8,823, c = 1883,34				
T°С	Опыт	Формула (1)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Формула (2)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Опыт	Формула (1)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)	Формула (2)	Погр. Δ <sub>i</sub> (%)
30	1777	1762	0,826	1767	0,538	2139	2125	0,647	2078	2,843
40	1835	1835	0,042	1829	0,322	2200	2196	0,199	2150	2,241
50	1891	1903	0,663	1886	0,246	2251	2261	0,443	2218	1,465
60	1955	1965	0,543	1939	0,808	2301	2321	0,880	2280	0,905
70	2010	2021	0,596	1987	1,111	2368	2376	0,358	2337	1,303
80	2101	2072	1,348	2032	3,297	2417	2427	0,397	2389	1,161
90	2075	2117	2,055	2071	0,175	2485	2472	0,537	2436	1,989
100	2187	2157	1,375	2106	3,675	2533	2512	0,834	2477	2,210
110	2205	2190	0,657	2138	3,062	2556	2546	0,371	2513	1,670
120	2225	2218	0,297	2163	2,744	2577	2576	0,026	2544	1,264
130	2235	2240	0,249	2185	2,193	2592	2601	0,349	2570	0,836
140	2247	2257	0,447	2203	1,929	2615	2621	0,218	2591	0,914

## ВЫВОДЫ

1. Разработана экспериментальная методика измерения теплоемкости хлопко-сырца и его компонентов в зависимости от температуры и влажности.

2. В результате анализа экспериментальных данных установлено, что с ростом температуры сушки и влажности материала происходит перераспределение концентрации воздуха и влаги, которое может существенно влиять на ход кривых зависимостей теплоемкости.

3. Предложены эмпирические формулы для расчета теплоемкости хлопко-сырца и

его компонентов, аппроксимирующие экспериментальные зависимости линейными или квадратичными функциями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Щеколдин М.И. Тепловлажностные константы хлопко-сырца. – М.: Гизлегпром, 1958.
2. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968.
3. Шашков А.Г. Методы измерений теплофизических характеристик материалов. – Минск, 1996.
4. Усманкулов А.К., Партиева А. Уточнение методики определения коэффициента теплопередачи и оптимизация внутренних устройств сушильного барабана // Проблемы текстиля. – 2002, № 3. С. 44...48.

5. Усманкулов А.К., Партиеv А., Бегалиев А. Определение объемного коэффициента теплопередачи в сушильном барабане // Проблемы текстиля. – 2006 №2. С. 92...95.

6. Усманкулов А.К. Исследование конвективно-го тепла и масса переноса в движущемся хлопке-сырце и воздушной массе с приведенными тепло-

физическими и массообменными характеристиками // Проблемы механики. – 2008, № 4-5. С. 41...46

Рекомендована кафедрой первичной обработки хлопка. Поступила 30.01.14.

---