

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЯХ ОТДЕЛКИ**

**THE RESEARCH OF THE SORPTION PROPERTIES
OF COTTON FABRICS
IN THE TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF FINISHING**

М.К. КОШЕЛЕВА, О.Р. ДОРНЯК, Т.А. НОВИКОВА
M.K. KOSHELEVA, O.R. DORNYAK, T.A. NOVIKOVA

(Московский государственный университет дизайна и технологии,
Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова)
(Moscow State University of Design and Technology,
Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov)
E-mail: oxtpaxt@yandex.ru

Исследовано качественное и количественное влияние технологических операций отделки на сорбционные свойства хлопчатобумажных тканей. Предложены уравнения для описания изотерм сорбции паров воды.

The qualitative and quantitative influence of the technological operations of finishing on sorption properties of cotton fabric was researched. The equations for the description of the sorption isotherm of water vapor were proposed.

Ключевые слова: хлопчатобумажная ткань, отделка, сорбция, структурные характеристики, изотермы сорбции паров воды, уравнения для описания изотерм.

Keywords: cotton fabric, finishing, sorption, structural characteristics, sorption isotherms of water vapor, the equation for the description of the isotherms.

Оценка влияния технологических операций отделки на свойства текстильного материала представляет практический интерес. В работе представлены результаты экспериментального исследования сорбции паров воды хлопчатобумажной тканью, прошедшей определенные технологические операции отделки. Цель исследования – определить, как изменяются сорбционные свойства хлопчатобумажной ткани после процесса печати и после различных стадий промывки.

Объектом исследования является хлопчатобумажная ткань (ситец), напечатанная активным красителем. Изучались образцы ткани, прошедшие следующие процессы технологической обработки: только печать; только отбеливание; печать и затем полный цикл промывки на промышленной

линии ЛПС-140-10; печать и промывка только в первой и второй промывных ваннах линии.

Эксперимент по определению изотерм сорбции паров воды для исследуемых образцов проводили на вакуумной сорбционной установке с пружинными весами Мак-Бена-Бакра [1].

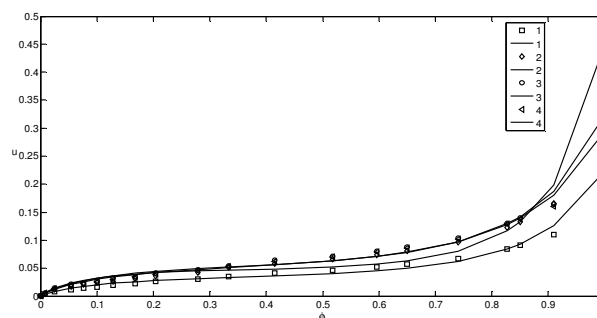


Рис. 1

На рис. 1 представлены экспериментальные и расчетные зависимости сорбционной влажности u (кг/кг) для хлопчатобумажной ткани: отбеленной – 1, после печати – 2, после второй промывной машины – 3, после процесса промывки – 4. Маркером отмечены данные эксперимента, непрерывные кривые – расчетные по формуле (1) с параметрами, приведенными в табл. 2. Анализ экспериментальных изотерм сорбции (рис. 1) показывает, что образцы одной и той же хлопчатобумажной ткани: образец, прошедший только отбеливание, образец ткани после печати и образец ткани после печати и последующей промывки имеют различную сорбционную способность. Максимальная гигроскопическая влажность образца ткани после отбеливания составляет $U_{p,max}=22,52\%$, что значительно меньше, чем это значение у образца после печати ($U_{p,max}=45,55\%$), а также образцов после печати и последующей промывки. Из рис. 1 видно, что значительное увеличение сорбционной способности всех исследуемых образцов наблюдается в области больших значений относительной влажности воздуха ϕ , при этом максимальный рост сорбционной влажности образцов происходит в диапазоне изменения ϕ от 0,9 до 1.

Сравнивая величины сорбционных влажностей для трех образцов хлопчатобумажной ткани после печати, после печати образца, прошедшего две промывные ванны, и после печати образца, прошедшего полностью процесс промывки, следует отметить, что величины их сорбционных влажностей в широком диапазоне измене-

ния значений относительной влажности ϕ , вплоть до $\phi=0,9$, очень близки между собой. В области же больших значений относительной влажности от $\phi=0,9$ до $\phi\approx 1$ величины их сорбционных влажностей значительно различаются. Максимальной величиной сорбционной влажности обладает образец, прошедший процесс печати ($U_{p,max}=45,55\%$), меньшей величиной максимальной сорбционной влажности обладает образец после печати, прошедший первые две промывные машины ($U_{p,max}=32,50\%$). Наименьшей величиной максимальной сорбционной влажности из трех сравниваемых образцов обладает образец, прошедший после печати процесс полной промывки ($U_{p,max}=29,65\%$).

Из экспериментальных данных следует, что образцы хлопчатобумажной ткани, прошедшие процесс печати, обладают значительно большей сорбционной емкостью (как до процесса промывки, так и после него), чем образец хлопчатобумажной ткани после процесса отбеливания, не прошедший процесса печати. Сорбционная емкость образца, прошедшего процесс печати, увеличивается по сравнению с образцом, прошедшим процесс отбеливания, начиная уже с самых малых величин относительной влажности окружающей среды, что согласуется с увеличением в данном случае их удельной внутренней поверхности ($S_{уд}$, m^2/g). Значения удельной поверхности для исследуемых образцов хлопчатобумажной ткани приведены в табл. 1. Расчет $S_{уд}$ выполнен на основе экспериментальных данных по методу БЭТ [1].

Т а б л и ц а 1

Образец ткани	Ткань отбеленная	Ткань после печати	Ткань после второй промывной машины	Ткань после промывки
$S_{уд}$, m^2/g	114	165	190	174

По всей видимости, печатная краска обладает значительной сорбционной емкостью, о чем свидетельствует очень большая величина максимальной сорбционной влажности у образцов, прошедших процесс печати. Однако только большой сорбционной способностью печатной

краски такое значительное увеличение сорбционной емкости напечатанных тканей объяснить нельзя. Удельный объем нанесенной печатной краски по сравнению с удельным объемом ткани невелик. Кроме того, после промывки сорбционная емкость образцов хлопчатобумажной ткани

мало меняется по сравнению с образцом хлопчатобумажной ткани после печати, не прошедшим промывку, вплоть до $\varphi = 0,9$. Поэтому следует предположить, что нанесение печатной краски на ткань оказывает влияние на структуру ткани.

Известно, что сорбционная способность ткани обуславливается не столько типом переплетения, сколько сорбционной емкостью хлопкового волокна [1], [3], [4]. Данное обстоятельство дает основание предположить, что процесс печати оказывает влияние на структурные изменения в самом волокне. Та часть печатной краски, которая заполнила крупные поры, не формирует достаточно прочных связей и вымывается в процессе промывки, что объясняет уменьшение величины сорбционной влажности образцов после окончательной промывки.

Изотермы сорбции образцов, прошедших процесс печати и промывки, практически совпадают при $0 < \varphi < 0,9$. Значение максимального гигроскопического влагосодержания у образца после печати, прошедшего две промывные ванны, выше, по сравнению с тем образцом, который был подвергнут полному циклу промывки. Это объясняется, вероятно, действием поверхностно-активных веществ (ПАВ), наличие которых в первых промывных ваннах обеспечивает тенденцию к росту сорбционной емкости ткани на данном этапе ее обработки (рис. 1, табл. 1).

Экспериментальное получение изотерм сорбции является трудоемким и продолжительным процессом. Для снижения объема экспериментальных исследований

можно использовать математическое описание этих кривых, которое имеет самостоятельное значение для прогнозирования процессов термовлажностной обработки тканей и других материалов методами математического моделирования [1...4], [7].

Экспериментальные изотермы сорбции аппроксимированы с помощью уравнения Л.Б. Цимерманиса, полученного на основе термодинамического анализа. Данный подход хорошо зарекомендовал себя при изучении тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых материалах [5], [6]. Для типичных капиллярно-пористых тел это уравнение имеет вид:

$$u = u_{\text{мг}} \varphi^{a_0 k^0}, \quad (1)$$

где u – равновесное влагосодержание, кг/кг; $u_{\text{мг}}$ – максимальное гигроскопическое влагосодержание, кг/кг; φ – относительная влажность воздуха; a_0 и k – безразмерные постоянные, называемые соответственно структурной активностью капиллярно-пористого материала и коэффициентом приращения активности связи.

Расчетные кривые на рис. 1 удовлетворительно описывают результаты экспериментов. Сумма квадратов отклонений расчетных значений от данных опытов для нормированных значений составила менее 0,01 для трех образцов хлопчатобумажной ткани (отбеленной, после второй промывной машины, после процесса промывки) и менее 0,05 – для ткани после печати. Параметры уравнения изотермы сорбции (1) при $t = 20^\circ\text{C}$ приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Образец ткани	Расчетные значения параметров уравнения изотермы сорбции (1)	
	a_0	k
Отбеленной	0,839	8,996
После печати	0,898	12,313
После второй промывной машины	0,808	8,739
После промывки	0,810	7,806

Анализ выявил интересную особенность опытных изотерм сорбции изучаемых хлопчатобумажных материалов. На рис. 2 представлена зависимость экспериментальных значений сорбционной влаж-

ности u (кг/кг), отнесенной к удельной поверхности материала $S_{\text{уд}}$ ($\text{м}^2/\text{г}$), для хлопчатобумажной ткани: отбеленной – 1, после печати – 2, после второй промывной машины – 3, после процесса промывки – 4.

Из рис. 2 видно, что значения отношений величины равновесного влагосодержания u материалов, подвергнутых различной технологической обработке, к соответ-

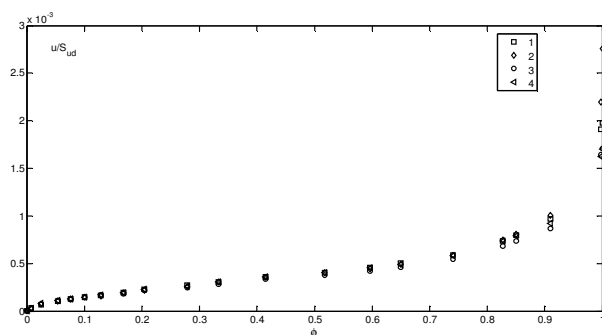


Рис. 2

Указанная закономерность позволяет предложить для расчетов сорбционных свойств обработанной ткани вместо уравнения (1) с коэффициентами, различными для каждого случая обработки, более универсальную зависимость вида:

$$u = \tilde{u}_{\text{МГ}} \frac{S_{\text{уд}}}{\tilde{S}_{\text{уд}}} \varphi^{\tilde{a}_0 \tilde{k}^\varphi}. \quad (2)$$

В формуле (2) равновесное влагосодержание ткани после любой обработки вычисляется по параметрам, которые относятся только к отбеленной ткани ($\tilde{u}_{\text{МГ}} = 0,2252$ кг/кг, $\tilde{S}_{\text{уд}} = 114$ м²/г, $\tilde{a}_0 = 0,839$, $\tilde{k} = 0,839$), а влияние типа обработки определяется значением $S_{\text{уд}}$ для этого процесса.

На рис. 3 представлены экспериментальные и расчетные зависимости сорбционной влажности u (кг/кг) для хлопчатобумажной ткани: отбеленной – 1, после печати – 2, после второй промывной машины – 3, после процесса промывки – 4. Маркером отмечены данные эксперимента, непрерывные кривые – расчетные по уравнению (2). Рис. 3 иллюстрирует хорошее совпадение экспериментальных и рассчитанных по уравнению (2) изотерм сорбции паров воды хлопчатобумажной тканью после различных отделочных операций. Из (2) следует, что сорбционные свойства ткани, подвергнутой определенной технологической операции отделки, линейно

зависят от одного параметра, характеризующего ее пористую структуру, – удельной поверхности сорбента ($S_{\text{уд}}$).

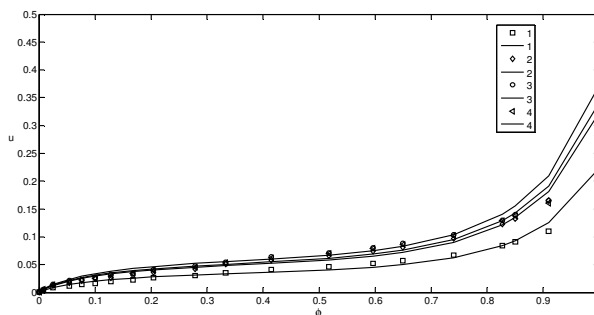


Рис. 3

зависят от одного параметра, характеризующего ее пористую структуру, – удельной поверхности сорбента ($S_{\text{уд}}$).

ВЫВОДЫ

1. Качественный характер изотерм сорбции паров воды для хлопчатобумажной ткани после различных технологических операций отделки: отбеленной, после печати, после второй промывной машины, после процесса промывки идентичен. Количественное влияние рассмотренных технологических операций пропорционально значению удельной поверхности ткани.

2. Предложенные для описания изотерм сорбции паров воды уравнения удовлетворительно описывают экспериментальные данные и могут использоваться в расчетах тепло- и массопереноса при термовлажностной обработке хлопчатобумажных тканей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сажин Б.С., Кошелева М.К., Сажина М.Б. Процессы сушки и промывки текстильных материалов. – М.: МГУДТ, 2013.
2. Кошелева М.К., Кереметин П.П., Булекова А.А., Наумов Д.А. Анализ плотных шерстяных тканей как объекта технологической обработки и интенсификация процесса их отделки // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2007, № 2. С.118...121.
3. Кошелева М.К., Щеголев А.А., Реутский В.А. Исследование и инженерный расчет процесса промывки трикотажных полотен //

Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2004, № 6. С.116...118.

4. *Коселева М.К., Наумов Д.А.* Исследование хлопчатобумажной ткани как объекта технологической обработки // Успехи в химии и химической технологии. – 2007, Т.21, № 11 (79). С.101...103.

5. *Цимерманис Л.-Х. Б.* Сорбция, структурообразование, массоперенос (термодинамика влажного тела). – М.: "Алекс", 2006.

6. *Дорняк О.Р., Салах Х. Мела Аль Сарраджи, Шмит'ко Е.И., Усачев С.М.* Нестационарный связанный тепло- и массоперенос в системе контактирующих пористых материалов // Сб. тр. Междунар. научн.-практ. конф.: Проблемы ресурсо- и энергосберегающих технологий в промышленности и АПК (ПРЭТ-2014). – Иваново: ИГХТУ, 2014, Т.1, С. 23...28.

7. *Новиков М.В., Викторова Н.С.* Исследование влияния различных видов отделки на физико-механические, сорбционные и эксплуатационные свойства меха пыжика // Дизайн и технологии. – 2014, №44 (86). С.54...65.

REFERENCES

1. Sazhin B.S., Kosheleva M.K., Sazhina M.B. *Processy sushki i promyvki tekstil'nyh materialov.* – М.: MGUDT, 2013.

2. Kosheleva M.K., Keremetin P.P., Bulekova A.A., Naumov D.A. *Analiz plotnyh sherstjanyh tkanej kak ob"ekta tehnologicheskoy obrabotki i intensivizacii*

ja processa ih otdelki // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2007, № 2. С.118...121.

3. *Kosheleva M.K., Shhegolev A.A., Reutskij V.A.* Issledovanie i inzhenernyj raschet processa promyvki trikotazhnyh poloten // Izv.vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2004, № 6. С.116...118.

4. *Kosheleva M.K., Naumov D.A.* Issledovanie hlochatobumazhnoj tkani kak ob"ekta tehnologicheskoy obrabotki // Uspehi v himii i himicheskoy tehnologii. – 2007, Т.21, № 11 (79). С.101...103.

5. *Cimermanis L.-H.B.* Sorbcija, strukturoobrazovanie, massoperenos (termodinamika vlazhnogo tela). – М.: "Aleks", 2006.

6. *Dornjak O.R., Salah H. Mela Al' Sarradzi, Shmit'ko E.I., Usachev S.M.* Nestacionarnyj svjazannyj teplo- i massoperenos v sisteme kontaktirujushhijh poristyh materialov // Sb. tr. Mezhdunar. nauchn.-prakt. konf.: Problemy resurso- i jenergosberegajushhijh tehnologij v promyshlennosti i APK (PRJeT-2014). – Ivanovo: IGHTU, 2014, Т.1, С. 23...28.

7. *Novikov M.V., Viktorova N.S.* Issledovanie vlijanija razlichnyh vidov otdelki na fiziko-mehanicheskie, sorbcionnye i jekspluatacionnye svojstva meha pyzhika // Dizajn i tehnologii. – 2014, №44 (86). С.54...65.

Рекомендована кафедрой процессов и аппаратов химической технологии и безопасности жизнедеятельности. Поступила 08.04.16.