

УДК 677.027:12:677.21.074

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА И КИНЕТИКИ ПРОПИТКИ ВОДОЙ
ТКАНЕЙ ИЗ ПРИРОДНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН***М.Н.ГЕРАСИМОВ, О.Н.МАХОВ***(Ивановская государственная текстильная академия)**

В работе [1] на основании проведенного теоретического исследования процесса пропитки текстильных полотен составлено его математическое описание, в основу которого положено предположение о фильтративном механизме заполнения жидкостью капиллярно-пористой структуры волокнистого материала. Анализ полученных в этом исследовании результатов показал, что изменение степени заполнения $\delta_{\text{пр}}$ порового объема текстильного полотна в зависимости от времени τ его пребывания в жидкости может быть представлено в виде степенной функции

$$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{A}{k} \right)^z, \quad (1)$$

где A – функция физических характеристик пропитываемой жидкости, а также геометрических и структурных характеристик текстильного полотна; k – коэффициент, получивший название «коэффициента со-

противления пропитке», определяемый опытным путем по кинетическим кривым пропитки; z – показатель степени, учитывающий нестационарность процесса пропитки.

Экспериментальные исследования [2], проведенные с использованием четырех артикулов суровых хлопчатобумажных тканей, подтвердили справедливость такого подхода к описанию кинетики пропитки текстильных полотен.

С целью уточнения факторов, влияющих на величины A , k и z , и получения дополнительных сведений об особенностях механизма пропитки водой тканей из природных целлюлозных волокон нами осуществлены экспериментальные исследования этого процесса с использованием расширенного ассортимента тканей, характеристика которых показана в табл.1.

Ткань	Поверхностная плотность ткани, кг/м ²	Толщина полотна ткани, мм	Линейная плотность ткани, нитей / 10 см		Толщина пряжи, текс		Объемная плотность сухой ткани, кг/м ³	Пористость сухой ткани
			основа	уток	основа	уток		
Суровые ткани со 100%-ным содержанием хлопковых волокон								
Саржа арт.3217	0,285	0,69	488	255	16,6×2	25×2	390	0,746
Диагональ арт.3006	0,300	0,82	287	216	41,7	71,4	345	0,775
Бапмачная арт.7071	0,440	1,04	152	118	50×3	50×3	400	0,740
Миткаль арт.6	0,086	0,40	227	200	18,5	18,5	203	0,867
Бязь арт.157	0,150	0,43	236	236	29,0	29,0	329	0,789
Бязь арт.262	0,146	0,49	228	228	29,0	29,0	298	0,805
Диагональ арт.212	0,212	0,57	222	170	50,0	50,0	351	0,770
Суровые ткани со 100%-ным содержанием льняных волокон								
Тик арт.902	0,280	0,44	232	237	В60 ВЛ	В60 ВЛ	563	0,624
Тик арт.901	0,173	0,44	208	115	В50 ВЛ	В38 ВЛ	393	0,738

Методика определения показателя степени $\delta_{\text{пр}}$ пропитки тканей и описание ее аппаратного оформления даны в [3]. В [4] приведена статистическая оценка получаемых с помощью этой методики экспериментальных данных.

При доверительной вероятности $P=0,95$ доверительный интервал средних арифметических значений влагосодержания ткани

не превышает $\Delta \bar{u}_{\text{св}} = \pm 0,0035$, что позволяет получать достоверные результаты как по кинетике пропитки текстильных материалов, так и по оценке сравнительной эффективности различных воздействий, интенсифицирующих этот процесс.

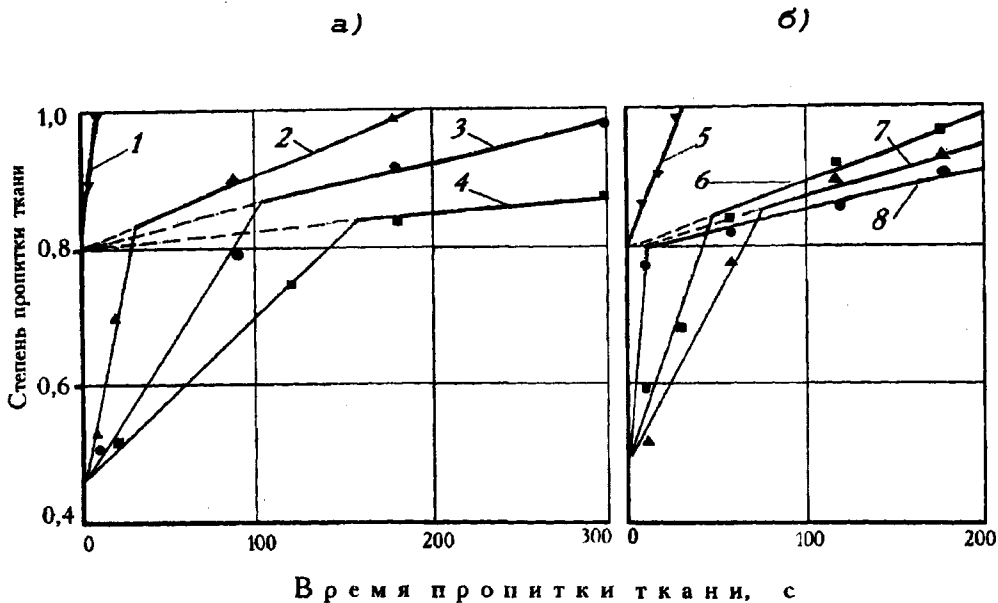


Рис. 1

На рис.1-а приведены экспериментальные данные [2] по кинетике пропитки водой суровой хлопчатобумажной ткани саржа арт.3217 (1–температура $t_{ж}$ пропитывающей жидкости–95; 2–60; 3–40 и 4–20°C). На рис.1-б изображены кинетические кривые процесса пропитки водой суровой хлопчатобумажной ткани бязь арт.157 (5– $t_{ж}$ =80 и 6–40°C); суровой хлопчатобумажной ткани миткаль арт.6 (7–20°C); суровой льняной ткани тик арт.901 (8–60°C), полученные в рамках настоящего исследования.

Анализ всего объема экспериментальных данных указывает на идентичность характера кинетических зависимостей процесса пропитки для всех названных в табл.1 тканей. По результатам этого анализа весь процесс пропитки условно можно разбить на три периода, отличающихся интенсивностью заполнения жидкостью порового объема волокнистого материала (рис.1).

Если соседние экспериментальные точки, характеризующие кинетику заполнения порового объема ткани, соединить прямыми линиями, то получится ломаная кривая.

Начальный период пропитки – заполнение порового объема ткани до значения $\delta_{пр}=0,45...0,50$ – протекает практически мгновенно. В этом периоде жидкость заполняет сквозные межнитевые и межволоконные макропоры текстильного полотна.

Круто восходящие отрезки кинетических кривых характеризуют второй период процесса пропитки. В тканях, поверхность волокон которых гидрофобная (суровые ткани из природных хлопковых и льняных волокон), капиллярное давление, возникающее в их пористой структуре, значительно меньше, чем в структуре хорошо подготовленных (отбеленных) тканей. По этой причине заполнение жидкостью значительной части сквозных пор и капилляров, образовавшихся в текстильном полотне в процессе его изготовления (процессы прядения и ткачества) затруднено. При погружении волокнистого материала в жидкость в этих так называемых «кваситупиковых» порах и капиллярах остается воздух. Это снижает скорость проникновения жидкости в поровую структуру ткани во

втором периоде по сравнению с первым периодом происходящего процесса.

Пологие отрезки кинетических кривых характеризуют третий период заполнения поровой структуры тканей. К началу этого периода заполнение «кваситупиковых» пор в основном завершено и начинается заполнение тупиковых капилляров, расположенных в структуре отдельных волокон, где также остался заземленный воздух. Чтобы жидкость заполнила объем тупиковых капилляров, оставшийся в них воздух должен быть удален. Удаление его возможно за счет растворения воздуха в жидкости, закрывающей свободный конец капилляра, и последующей диффузии растворенного воздуха через пропитывающую жидкость в окружающую среду. Лишь после этого тупиковый капилляр может быть заполнен жидкостью.

Описанный механизм заполнения тупиковых капилляров приводит к резкому падению скорости продвижения жидкости в структуре ткани, что и выражается в уменьшении наклона кинетических кривых в третьем (заклочительном) периоде процесса пропитки. Причем продолжение более пологих частей этих ломаных кинетических кривых сходится в одну точку на оси $\delta_{пр}$, которой соответствует значение 0,8. Это значение, как показывают данные рис.1, одинаково для всего исследованного диапазона температур пропитывающей жидкости и для всех исследованных тканей независимо от их волокнистого состава и физико-механических характеристик.

Обработка экспериментальных данных по пропитке в воде суровых тканей из хлопковых и льняных волокон позволила установить, что уравнение (1) с достаточной для практики точностью описывает кинетику этого процесса при $z=0,2$. В свою очередь, величина A функционально свя-

зана с параметрами, характеризующими пропитывающую жидкость и обрабатываемое текстильное полотно, зависимостью

$$A = \frac{\sigma}{h_{\text{тк}}^2 \mu \epsilon}, \quad (2)$$

где σ и μ – соответственно поверхностное натяжение, Н/м и динамическая вязкость, Па·с пропитывающей жидкости при соответствующей ее температуре; $h_{\text{тк}}$ – толщина полотна ткани, м; ϵ – пористость ткани (отношение объема пор ткани к ее общему объему).

С учетом (2) уравнение для расчета кинетики заполнения поровой структуры текстильных полотен из природных целлюлозных волокон при их пропитке водой запишется так:

$$\delta_{\text{пр}} = \left(\frac{\tau \sigma}{k h_{\text{тк}}^2 \mu \epsilon} \right)^{0,2}. \quad (3)$$

Величину коэффициента k в диапазоне температур пропитывающей воды от 10 до 95°C можно рассчитать по следующим эмпирическим формулам:

– для суровых хлопчатобумажных полотен

$$k = (14,8 - 0,15t_{\text{ж}}) \cdot 10^{10}, \text{ м}^{-1}; \quad (4)$$

– для суровых текстильных полотен из льняного волокна

$$k = (50,0 - 0,50t_{\text{ж}}) \cdot 10^{10}, \text{ м}^{-1}. \quad (5)$$

Таблица 2

Ткань	Температура $t_{ж}$ воды, °C	Тип данных	Время пропитки ткани в воде, с						
			10	20	30	40	60	90	120
			Степень пропитки ткани, $\delta_{пр}$						
Миткаль арт.6	20	1	0,496				0,769		0,960
		2	0,538				0,770		0,885
		$\Delta, \%$	-7,8				-0,1		+8,4
	40	1	0,601				0,898	0,965	
		2	0,610				0,876	0,950	
		$\Delta, \%$	-1,5				+2,5	+1,6	
	60	1		0,862			0,964		
		2		0,810			1,00		
		$\Delta, \%$		+6,4			-3,9		
Бязь арт.157	40	1	0,597		0,685		0,818		0,919
		2	0,605		0,754		0,866		0,995
		$\Delta, \%$	-1,3		-9,2		-5,6		-7,6
	60	1	0,693		0,806		0,918		
		2	0,697		0,869		0,998		
		$\Delta, \%$	-0,6		-7,2		-8,0		
	80	1	0,866	0,902					
		2	0,840	0,965					
		$\Delta, \%$	+3,1	-6,5					
Бязь арт.262	60	1	0,680		0,830	0,850	0,920		
		2	0,660		0,839	0,869	0,942		
		$\Delta, \%$	+3,0		-1,0	-2,2	-2,2		

Примечание. 1 – экспериментальные; 2 – расчетные значения.

Таблица 3

Ткань	Температура воды $t_{ж}$, °C	Тип данных	Время пропитки ткани в воде, с			
			60	90	120	180
			Степень пропитки ткани, $\delta_{пр}$			
Диагональ арт.212	20	1			0,856	0,866
		2			0,786	0,853
		$\Delta, \%$			+8,8	+1,5
	40	1	0,818		0,867	0,931
		2	0,779		0,894	0,970
		$\Delta, \%$	+5,0		-2,4	-4,0
	60	1	0,849		0,933	
		2	0,897		1,000	
		$\Delta, \%$	-5,3		-6,7	

Тик льняной арт.902	20	1	0,681	0,711	0,749	0,826	
		2	0,620	0,673		0,773	
		$\Delta, \%$	+9,5	+5,6		+6,5	
	40	1	0,701	0,735	0,809	0,801	
		2	0,705	0,764		0,878	
		$\Delta, \%$	-0,6	-3,8		-7,4	-8,8
60	1	0,786	0,841		0,937		
	2	0,810	0,879		1,00		
	$\Delta, \%$	-3,0	-4,3		-6,3		
Тик льняной арт.901	40	1	0,716	0,803	0,815	0,832	
		2	0,676	0,773		0,777	0,842
		$\Delta, \%$	+5,9	+9,5		+4,9	-1,2
	60	1	0,816	0,835	0,856	0,901	
		2	0,777	0,843		0,893	0,968
		$\Delta, \%$	+5,0	-1,0		-4,1	-6,9

Примечание. 1 – экспериментальные; 2 – расчетные значения.

В табл.2 и 3 представлены полученные нами экспериментальные значения показателей степени пропитки $\delta_{пр}$ тканей в сравнении

с расчетными значениями этого показателя, определенного с использованием формул (3...5).

Таблица 4

Ткань	Температура $t_{ж}$ воды, °C	Тип данных	Время пропитки ткани в воде, с								
			5	10	20	60	90	120	180	240	300
			Степень пропитки ткани, $\delta_{пр}$								
Саржа арт.3217	20	1		0,455	0,517			0,744			0,869
		2		0,446	0,512			0,733			0,881
		$\Delta, \%$		+2,0	+1,0			+1,5			-1,4
	40	1		0,512			0,795		0,916	0,985	
		2		0,507			0,787		0,905	0,977	
		$\Delta, \%$		+1,0			+1,0		+1,0	+1,0	
	60	1			0,692		0,897		0,989		
		2			0,672		0,908		1,00		
		$\Delta, \%$			+3,0		-1,1		-1,1		
95	1	0,889	1,00								
	2	0,852	0,980								
	$\Delta, \%$	+4,3	+2,0								
Баш- мачная арт.7071	60	1		0,518		0,725		0,835		0,951	
		2		0,497		0,711		0,817		0,939	
		$\Delta, \%$		+4,2		+2,0		+2,2		+1,3	
Диаго- наль арт.3006	20	1			0,515	0,632				0,796	0,830
		2			0,474	0,591				0,780	0,816
		$\Delta, \%$			+8,6	+6,8				-2,0	+1,7
	60	1			0,642	0,796	0,867		0,955		
		2			0,622	0,775	0,840		0,965		
		$\Delta, \%$			+3,2	+2,7	+3,2		-1,0		

Примечание. 1 – экспериментальные; 2 – расчетные значения.

В табл.4 проведен аналогичный анализ по экспериментальным результатам, полученным в [2].

Во всех случаях отклонение Δ экспериментальных значений показателя степени пропитки $\delta_{пр}$ от его расчетных значений не превышает $\pm 9,5\%$. Это подтверждает высокую эффективность использования предложенных формул для расчета кинетики пропитки в воде суровых тканей из природных целлюлозных волокон.

Применение результатов настоящего исследования и предложенных расчетных формул позволит учитывать особенности кинетики пропитки при разработке эффективных технологических режимов процессов подготовки, крашения, заключительной химической отделки и промывки суровых текстильных полотен.

ВЫВОДЫ

1. Процесс пропитки водой суровых тканей из природных целлюлозных волокон протекает в три периода, отличающихся интенсивностью заполнения жидкостью их ка-

пиллярно-пористой структуры, что обусловлено различием в механизме процесса пропитки в указанные периоды.

2. Предложены формулы для расчета кинетики пропитки водой указанных тканей, учитывающие физические характеристики пропитываемой жидкости, а также тип волокнистого состава ткани, ее геометрические и структурные характеристики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов М.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –1988, №1. С.63...66.
2. Герасимов М.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –1988, №2. С.65...67.
3. Герасимов М.Н., Козлов В.В. / В сб.: Вопросы новой технологии в отделке хлопчатобумажных тканей. –М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1979. С. 57...65.
4. Герасимов М.Н., Махов О.Н. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. –2001, №1. С.63...66.

Рекомендована кафедрой теплотехники. Поступила 17.05.01.