

УДК 677.027.625.121.5

*А. К. Изгородин, Д. Ю. Трусов, Р. В. Маврин*

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКОН ХЛОПЧАТНИКА РАЗНОЙ СТЕПЕНИ ЗРЕЛОСТИ  
И ПАРАМЕТРЫ ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ОКОЛО ПОВЕРХНОСТИ  
ЭТИХ ВОЛОКОН**

Ивановский государственный политехнический университет,  
ул. 8 Марта, 20, 153000 Иваново, Россия  
E-mail: izgorodin@ivgpu.com, kompylator@mail.ru

*Исследованы волокна хлопчатника разной степени зрелости. Определены характеристики волокон: степень зрелости, модуль упругости, коэффициент тангенциального сдвига, прочность и деформация, параметры структуры волокон на молекулярном и надмолекулярном уровнях с использованием ИК-спектроскопии и рентгеновской дифрактометрии. Определены параметры жидкокристаллической среды в зоне расположения волокон Краснодарского хлопчатника разной степени зрелости. Проведен анализ характеристик различных свойств волокон – прочностных, резистометрических, фрикционных характеристик их структуры на молекулярном и надмолекулярном уровнях, а также параметров жидкого кристалла – температуры перехода жидкого кристалла в изотропное состояние, ширины зоны нематической фазы около волокон с нарушенной гомеотропной ориентацией. На основе проведенного анализа установлено, что при снижении степени зрелости волокон в 5 раз ширина зоны нематика около поверхности волокон с нарушенной гомеотропной ориентацией уменьшается в 2–2,5 раза, оптическая плотность волокон снижается в 2÷2,4 раза, угол разориентации кристаллитов в волокнах возрастает и снижается размер этих кристаллитов на 10÷15 %, что коррелирует со снижением на 8÷14 % значения температуры переходанематика в изотропное состояние около поверхности волокон. Таким образом, определение параметров жидких кристаллов около поверхности волокон позволяет заменить сложные и дорогостоящие исследования с использованием ИК-спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.*

**Ключевые слова:** *волокно, жидкокристаллическая зона, нематическая фаза, силы Ван-дер-Ваальса, инфракрасный спектр, рентгеновская дифрактометрия, кристаллит, модуль упругости, двулучепреломление, электросопротивление, функциональная группа, молекулярный и надмолекулярный уровень, период идентичности, гомеотропная ориентация, изотропное состояние.*

*А. К. Izgorodin, D. Yu. Trusov, R. V. Mavrin*

**FEATURES OF COTTON FIBER WITH THE VARYING MATURITY DEGREES  
AND PARAMETERS OF THE LIQUID CRYSTAL ZONE NEAR THE FIBERS SURFACE**

Ivanovo State Polytechnic University  
March 8 str., 20, 153000 Ivanovo, Russia  
E-mail: izgorodin@ivgpu.com, kompylator@mail.ru

*Cotton fibers of different maturity have been investigated. Such fibers characteristics as a maturity degree, an elastic modulus, torsional shear strength and strain parameters of the fiber structure at the molecular and supermolecular levels were determined using IR-spectroscopy and X-ray diffractometry. The parameters of the liquid crystal medium in the fibers zone of Krasnodar cotton of different maturity were established. The analysis of the characteristics of such fiber properties as strength, resistometric and frictional characteristics of the fiber structure at the molecular and supramolecular levels and the analysis of such parameters of the liquid crystal as*

*the transition temperature from mesomorphic into isotropic state and the width of the nematic zone around the fibers with impaired homeotropic orientation were performed. Based on the performed analysis it was found that reducing of the fibers maturity degree in 5 times leads to decrease of the width of the nematic liquid crystal zone near the surface of the fibers with impaired homeotropic orientation in 2–2.5 times; the optical density of the fibers is reduced in 2 ÷ 2,4 times, the disorientation angle of crystallites in fibers increases and the size of the crystallites decreases on 10 ÷ 15%, which correlates with a decrease on 8 ÷ 14% of the value of the transition temperature of the nematic phase into the isotropic state near the surface of the fibers. Thus, determination of the parameters of liquid crystals near the surface of the fibers can replace complicated and expensive studies using IR spectroscopy and X-ray analysis.*

**Key words:** fiber, liquid crystal area, nematic phase, temperature, van der Waals forces, infrared spectrum, X-ray diffraction, crystal, elastic modulus, birefringence, electrical resistance, functional group, molecular and supramolecular level, identity period, homeotropic orientation, isotropic state.

## Введение

Для проектирования функциональных нанокомпозитов на волокнистой основе необходимы данные об уровне и причинах изменения характеристик различных свойств волокон: резистометрических, диэлектрических, прочностных, фрикционных, оптических. Цель работы – определение функциональных и технологических характеристик волокон путем использования жидких кристаллов взамен спектроскопии, дифрактометрии и других трудоемких классических методов. На кафедре физики и нанотехнологий Ивановского государственного политехнического университета с использованием приборов Научно-исследовательского института наноматериалов Ивановского госуниверситета определены параметры жидкокристаллической (ЖК) фазы в зоне расположения волокон астраханского хлопчатника разной степени зрелости.

Ранее было показано [1, 2], что при помещении хлопка-волокна в нематогенное вещество между двумя плоскими стеклами около их поверхности происходит искажение гомеотропной ориентации молекул ЖК. В результате около поверхности волокон наблюдается изменение цвета поляризованного света, проходящего через ячейку, состоящую из двух стекол и жидкого кристалла между ними. Ширина зоны нематика около поверхности волокон с искаженной гомеотропной ориентацией при увеличении длительности роста волокон возрастает от 5 000 нм до 28 000 нм, что свидетельствует [2] о возникновении около поверхности волокон более дальнедействующих сил в сравнении с силами Ван-дер-Ваальса. Характеристиками поля сил около волокон является ширина зоны с искаженной гомеотропной

ориентацией, определяемая дальнедействием сил, а также температура перехода нематика в изотропное состояние около поверхности волокон, характеризующая энергетическое состояние поверхностных зон волокон. В случае исследуемых астраханских волокон температура перехода нематика в изотропное состояние в зоне расположения поверхности волокон возрастает от 40,4 до 43,5 °С при увеличении их длительности роста от 7 до 60 дней.

При переходе нематической фазы из гомеотропного состояния в планарное около волокон с длительностью роста 60 дней четко видно (рис. 1, а), что вначале нематик переходит в гомеотропное состояние в зоне между волокнами – темные зоны, а около волокон остается в состоянии с искаженной гомеотропной ориентацией молекул (рис. 1, а). У поверхности же волокон длительностью роста 7 дней переход текстуры нематогена в гомеотропное состояние при охлаждении начинается одновременно у поверхности волокон и в зонах между ними (рис. 1, б).

Картина, представленная на рис. 1, а свидетельствует о том, что поле сил около поверхности зрелых волокон (60 дней роста) более интенсивное, оно дольше удерживает молекулы мезогена в состоянии, отличном от гомеотропного и при более высокой температуре.

Ширина зоны  $\delta$  нематика с нарушенной гомеотропной ориентацией структурных элементов жидкого кристалла у зрелых волокон, как следует из табл. 1, составляет 28 мкм. У волокон, длительность роста которых была 30, 15 и 7 дней, значение  $\delta$  равно соответственно 12,4; 7,6; 4,1 мкм (табл. 1).

Наиболее стабильными значениями  $\delta$  для разных групп волокон получаются при температуре, близкой к температуре перехода МББА в изотропное состояние.

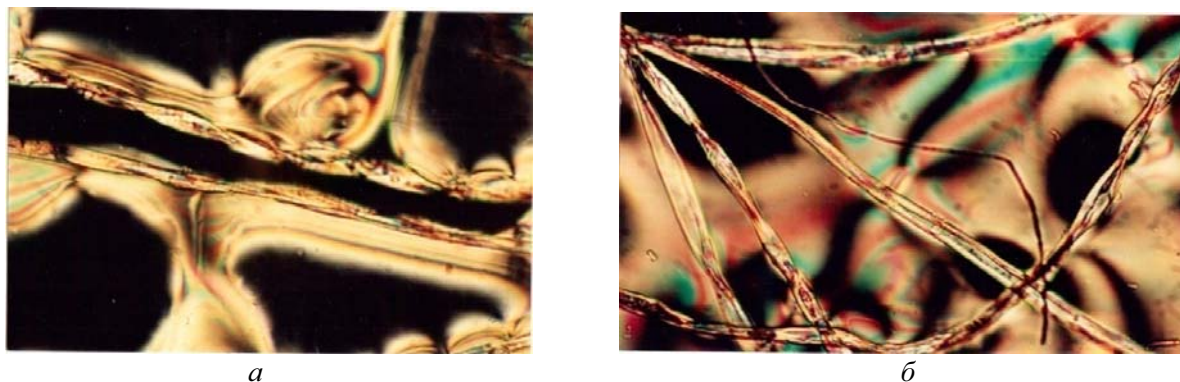


Рис. 1. Интерференционная картина в ЖК около поверхности зрелых (а) и незрелых (б) волокон в ходе перехода ЖК из изотропного в гомеотропное состояния

Таблица 1. Результаты определения степени зрелости волокон астраханского хлопчатника

Длительность роста волокон, дни	Значения $\delta$ и $T_{iso}$ ЖК около поверхности волокон		Значение коэффициента зрелости по ГОСТ 3274,2-72М
	$\delta$ , мкм	$T_{iso}$ , °C	
60	28,0	43,6	1,95
30	12,4	41,2	1,75
15	7,6	39,4	1,8
7	4,1	38,6	1,15

Для разных групп волокон значение температуры, при которой измеряют  $\delta$ , должно быть в интервале 38–44 °C. Меньшие изменения наблюдаются в значении температуры перехода жидкого кристалла в изотропное состояние –  $T_{iso}$  в зоне расположения волокон при разной степени их зрелости. Значение  $T_{iso}$  мезофазы около поверхности указанных выше групп волокон уменьшается от 43,6 °C до 38,6 °C при переходе от зрелых волокон к незрелым (табл. 1).

В соответствии с ГОСТом 32742-72М коэффициент зрелости ( $K_z$ ): у зрелых волокон равен – 1,95; при длительности роста их в течение 30 дней – 1,75; 15 дней – 1,8; 7 дней – 1,15.

Особенности структуры волокон на молекулярном уровне оценены посредством инфракрасной спектроскопии методом твердых иммерсионных сред – метод МТИС, а на надмолекулярном уровне – посредством рентгеноструктурного анализа.

Внутренние объемы волокон исследованы по ИК-спектрам, полученным методом твердых иммерсионных сред (МТИС), а поверхностные зоны – методом нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО). Поскольку хлопок содержит более 90 % целлюлозы, то при анализе его структуры молекулярного уровня рассмотрены характерные полосы и пики для целлюлозы.

Характеристики ИК-спектров, сформированных лучами, прошедшими через весь объем фрагментов волокон (МТИС), представлены в табл. 2. Как следует из табл. 2, положение максимума полосы, обусловленной валентными колебаниями гидроксильных групп во внутри- и межмолекулярных связях у волокон разной степени зрелости, остается неизменным – 3450 см<sup>-1</sup>. Доля сравнительно свободных групп OH, которым соответствуют более высокие частоты (свыше 3600 см<sup>-1</sup>), у волокон разной зрелости колеблется в пределах 8–10 %. Таким образом, функциональные OH-группы, имеющие в волокне наибольший удельный вес и обуславливающие изолированную полосу в ИК-спектре, в принципе у волокон разной зрелости структурированы аналогично. Упорядоченность же OH-групп, характеризуемая оптической плотностью D, растет от 0,45 до 1,02 при снижении длительности роста от 60 до 7 дней. Такое неожиданное изменение значения D в сравнении с имеющимися качественными соображениями [3, 4], опять-таки качественно можно объяснить так: в начале роста канал волокна в основном заполнен протоплазмой и для формирования целлюлозы как с точки зрения наличия «исходного материала», так и с точки зрения перемещения фронта возникающей твердой

Таблица 2. Параметры ИК-спектров (МТИС) астраханского хлопка разной зрелости

Дли- тель- ность роста хлопка, дни	Положение полос ( $\Delta\gamma, \text{см}^{-1}$ ) и пиков ( $\gamma, \text{см}^{-1}$ )																						
	3750-3040			3040-2840			1730-1560			1450			1410-1300			1150-920			900				
	Положе- ние пиков $\gamma, \text{см}^{-1}$	Опти- ческая плот- ность, D	Относи- тельная полуши- рина $\delta,$ $\text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$	$\gamma, \text{см}^{-1}$	D	$\delta, \text{см}^{-1}/\%$		
60	3450	0,45	16,8	2950	0,16	7,5	1650 1630 1580	0,075	12,2	0,06	7,5	1390 1320	0,11	9,8	1170 1120 1060	0,46	7,7	0,03	11,5				
30	3450	0,57	16,8	2950	0,16	8,9	1540 1630 1600	0,075	8,3	0,06	3,9	1390 1350 1320	0,13	7,0	1170	0,49	7,4	0,03	11,1				
20	3450	0,63	9,8	2940	0,17	6,4	1650 1630 1580	0,09	6,8	0,06	2,9	1390 1350 1320	0,14	7,3	1120	0,64	5,2	0,035	5,8				
10	3450	1,02	11,8	2920	0,26	6,1	1160 1580	0,12	5,8	0,12	3	1390 1350 1320	0,26	6,7	1060	1,14	6,6	0,06	7,6				

фазы имеются благоприятные условия; кроме этого, гидроксильным группам незрелых волокон, расположенных на границе раздела «целлюлоза – протоплазма», характерны повышенная подвижность и сравнительно более эффективное поглощение ИК-лучей. Более высокое значение  $D$  у незрелых волокон при частотах  $3750\text{--}3040\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о повышенной упорядоченности гидроксильных групп в целлюлозе. А более низкое значение относительной полуширины полосы у волокон с длительностью роста 15 и 7 дней (табл. 2) позволяет говорить о пониженной хаотичности ближайшего окружения ОН-групп.

Валентные колебания метиленовых  $\text{CH}$ - и  $\text{CH}_2$ -групп обуславливают появление полосы  $3040\text{--}2840\text{ см}^{-1}$ . По данным литературы,  $\text{CH}$ - и  $\text{CH}_2$ -группы расположены преимущественно в кристаллитах. Как следует из табл. 2, повышенное значение  $D$  и, следовательно, упорядоченности расположения этих групп в целлюлозе, характерно незрелым волокнам – с длительностью роста 15 и 7 дней. Число неэквивалентных состояний метиленовых групп существенно и у волокон с длительностью роста 60 и 30 дней:  $\delta = 7,5\text{ см}^{-1}$  и  $8,9\text{ см}^{-1}$  (табл. 2). Кроме этого, у волокон пониженной зрелости наблюдается повышенное значение  $D$  при частоте  $2850\text{ см}^{-1}$ , характерное для нецеллюлозных составляющих. Поскольку метиленовые группы преимущественно находятся в кристаллитах целлюлозы, то повышенная их упорядоченность в волокнах пониженной зрелости свидетельствует о более высоком уровне порядка в кристаллитах этих волокон.

Полосу в интервале частот  $1730\text{--}1560\text{ см}^{-1}$  относят к колебательным движениям низкомолекулярных образований, в том числе колебаниям связей  $\text{C}=\text{O}$  и  $\text{C}=\text{C}$ , сосредоточенных, главным образом, в поверхностной зоне волокон. Как следует из табл. 2, содержание этих образований и упорядоченность расположения функциональных групп существенно выше у зрелых волокон. При снижении зрелости волокон, относительная полуширина полосы  $1730\text{--}1560\text{ см}^{-1}$  значительна и у волокон пониженной зрелости (табл. 2). Это означает, что кутикула в определенной мере сформирована и у самых незрелых волокон, однако структура ее очень несовершенна: доля неэквивалентного окружения около функциональных групп очень большая. Отмеченные выше соображения можно отнести к нецеллюлозным образованиям, а не к влиянию молекул воды, которые обуславливают полосу в

этом же интервале – при  $1640\text{ см}^{-1}$ , так как влагосодержание у всех исследованных волокон было одинаковым.

Из сопоставления ИК-спектров, полученных методом твердых иммерсионных сред, характеризующих внутренний объем волокон (табл. 2), и методом НПВО, характеризующим поверхностные зоны волокон, следует:

- изменения структуры волокон в ходе их созревания внутри объема менее значительны, чем на их поверхности: величины  $D$  и их отношения для зрелых и незрелых волокон внутри объема отличаются у основных полос в  $1,6\text{--}2,5$  раза, а на поверхности волокон отношение указательных величин достигает семикратного значения;
- упорядоченность целлюлозы на молекулярном уровне при оценке по рекомендуемым в литературе показателям внутри незрелых волокон не ниже чем у зрелых, но даже и выше;
- поверхностной зоне волокон с малой длительностью роста характерны пониженное содержание целлюлозы и уменьшенная упорядоченность расположения в ней функциональных групп как в кристаллитных, так и аморфных образованиях.

Данные рентгеноструктурного анализа волокон разной степени зрелости представлены в табл. 3. Как видно, при снижении степени зрелости волокон период идентичности  $d$  в экваториальном направлении (рефлекс (002)) имеет тенденцию к возрастанию, а в меридиональном направлении (рефлекс (040)), напротив, наблюдается тенденция уменьшения величины  $d$ .

Из приведенных данных следует, что с ростом степени зрелости возрастает плотность укладки макромолекул, так как на параметры экваториального пика упорядоченность расположения атомов в самих макромолекулах сказывается несущественно из-за малости размеров макромолекул (около  $10\text{ \AA}$ ) в направлении, перпендикулярном оси волокна. Несущественность изменения  $d$  в меридиональном направлении означает, что с вызреванием волокон укладка структурных элементов вдоль макромолекул изменяется незначительно. Размер же кристаллитов  $L$  с увеличением степени зрелости более интенсивно изменяется в меридиональном направлении по сравнению с экваториальным. Так, величина  $L$ , определенная по меридиональному рефлексу (040), с уменьшением длительности вызревания волокон от 60 до 14 дней уменьшается

на 18,5 Å (на 26 %), а определенная по экваториальному рефлексу (002) – на 8 Å (на 16 %). Это означает, что упорядоченность в расположении структурных элементов, из которых состоят макромолекулы, с ростом степени зрелости волокон возрастает существенно, а упорядоченность укладки самих макромолекул при этом изменяется незначительно.

При понижении зрелости волокон наблюдается изменение функции ориентации и угла раз-

ориентации кристаллитов относительно оси волокна (табл. 3). Среднее значение  $f$  при уменьшении длительности роста волокон с 60 до 14 дней снижается на 4 %, а средний угол разориентации и кристаллитов возрастает на 4 %. Представить себе разворот кристаллитов, возникших на первых стадиях роста волокон, трудно. А это означает, что кристаллиты, формирующиеся на более поздних стадиях роста волокон, менее разориентированы относительно оси волокна.

Таблица 3. Характеристики надмолекулярной структурной организации астраханского хлопка разной степени

Длительность роста волокон, дни	Размеры кристаллитов, Å и период идентичности, d				Степень кристалличности		Значение функции ориентации, % (f)	Среднее значение угла разориентации кристаллитов, град.
	Меридиональный рефлекс (040)		Экваториальный рефлекс (002)		Образца	Целлюлозы		
	d, Å	D, Å	d, Å	D, Å				
60	2,586	81,5	3,936	53,5	68,0	69,5	72,2	28,1
30	2,589	72,5	3,974	49,0	67,5	69,4	71,0	31,0
15	2,584	69,0	3,952	48,0	68,9	68,9	70,5	31,0
7	2,580	64,4	3,959	47,0	68,8	68,8	68,8	32,0

Обобщая результаты исследования волокон на молекулярном и надмолекулярном уровнях, можно сделать некоторые обобщающие выводы:

- установлены закономерности формирования целлюлозы во внутреннем объеме и в поверхностной зоне волокон хлопчатника в ходе их роста;
- показано, что хлопку пониженной зрелости характерно повышенное в сравнении со зрелым хлопком, совершенство целлюлозы внутри волокон. В поверхностной же зоне незрелых волокон содержание целлюлозы существенно ниже в сравнении со зрелыми, целлюлозе в этой зоне характерна низкая упорядоченность расположения функциональных групп как в кристаллитах, так и в аморфных зонах.

Поверхностные зоны волокон хлопчатника содержат повышенное количество низкомолекулярных образований;

- установленные особенности строения поверхностных зон хлопка и данные об их составе позволяют более целенаправленно вести работу по их модифицированию и использованию волокон разной зрелости при разработке технологических процессов;
- данные об особенностях поверхностных зон волокон можно получить, используя жидкие кристаллы без применения сложных методов инфракрасной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа.

Характеристики физико-механических свойств волокон представлены в табл. 4.

Таблица 4. Физико-механические свойства волокон астраханского хлопчатника разной зрелости

Длительность роста волокон после цветения, дни	Физико-механические свойства волокон						Значение коэффициента тангенциального сдвига между волокнами	Ширина зоны нематика с нарушенной полиотропной ориентацией структурных элементов ЖК	Значение $T_{iso}$ , °C
	Модуль упругости, ГПа	Прочность при растяжении, сН	Удельное поверхностное электросопротивление, Ом	Удельное объемное электросопротивление, Ом	Показатель двулучепреломления				
60	26,7	4,7	$4,4 \cdot 10^9$	$1 \cdot 10^{10}$	0,051	0,23	28	43,6	
30	24,8	4,1	$5,7 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$	0,045	0,22	12,4	41,2	
20	21,9	3,1	$7,6 \cdot 10^9$	$1,3 \cdot 10^{10}$	0,046	0,18	7,6	39,4	
10	19,7	2,4	$8,4 \cdot 10^9$	$4,8 \cdot 10^{10}$	0,048	0,17	4,1	38,6	

### Выводы

✓ Данные в таблицах 1 и 4, а также рис. 1, а, б свидетельствуют о взаимосвязи характеристик, полученных при различных испытаниях, и параметров изменения состояния мезогена в зоне расположения волокон: ширина зоны ЖК с искаженной гомеотропной ориентацией молекул ЖК в случае зрелых волокон (рис. 1, а) составляет около 28000 нм, а в случае незрелых волокон (рис. 1, б) – 5000 нм. Такое соотношение ширины зоны ЖК с искаженной гомеотропной ориентацией свидетельствует о повышенной интенсивности и дальности действия поля сил около поверхности зрелых волокон. Указанные отличия обусловлены факторами, выявленными различными методами, использованными в данной работе. Из полученных ИК-спектров следует, что для волокон пониженной зрелости характерны повышенная упорядоченность и подвижность гидроксильных групп в оставшихся зонах протоплазмы; повышенная упорядоченность этих групп в кристаллитах целлюлозы. По данным рентгеноструктурного анализа совершенство кристаллитных образований в целом у зрелых волокон выше примерно в 7 раз. Существенные изменения надмолекулярной структуры зрелых волокон при переходе от центра волокон к поверхности обуславливают появление в приповерхностной зоне волокна поля сил, и, как следствие, появление широкой области с искаженной гомеотропной ориентацией молекул ЖК.

✓ При анализе результатов, представленных в табл. 4, видна корреляция между характеристиками различных свойств волокон и параметрами зоны нематика около поверхности волокон. При увеличении длительности роста волокон их модуль упругости возрастает с 6,9 до 26,7 ГПа. Примерно в такой же пропорции возрастает ширина зоны нематика с нарушенной гомеотропной ориентацией, поскольку оба эти фактора определяются совершенством и объемом кристаллитных образований в волокне. Удельное объемное электросопротивление волокон с увеличением длительности роста волокон снижается примерно в 4 раза в связи с возрастанием дефектности волокон, а значит, ростом структурных образований, способных перемещаться под действием электрического поля. Значение же  $T_{iso}$  при этом уменьшается, так как повышение дефектности волокон сопровождается снижением потенциала, формируемого в поверхностной зоне волокон.

✓ Имеющиеся экспериментальные данные позволяют утверждать взаимосвязь характеристик жидкокристаллической среды в зоне расположения волокон, по крайней мере на уровне качественных изменений, со значениями характеристик структурных образований в волокнах и их функциональных свойств. Систематизированные исследования в этом направлении могут позволить установить количественные соотношения между характеристиками ЖК-среды и функциональными свойствами волокон и тем самым упростить и ускорить процессы определения особенностей структурной организации и физико-механических свойств волокон, а также уменьшить затраты, связанные с определением физико-механических свойств и характеристик структурной организации волокон, используемых в настоящее время.

### Список литературы / References

1. Патент РФ № 2202786. Способ определения зрелости волокон хлопчатника / Изгородин А. К., Семикин А. П., Усольцева В. А., Жердев В. П.; опубл. 20.04.2003. [Russian patent № 2202786. Spособ opredeleniya zrelosti volokon khlopchatnika (The method for determining the maturity of cotton fibers) / Izgorodin A. K., Semikin A. P., Usoltseva V. A., Zherdev V. P.; opubl. 20.04.2003 (in Russian)].
2. Изгородин А. К., Зрюкин В. В., Коноплев Ю. В. Роль поверхностной зоны волокон в текстильной технологии // Материалы IX Международно-практического семинара Smartex-2006. Иваново, 2006. С. 8. [Izgorodin A. K., Zryukin V. V., Konoplev Yu. V. Rol' poverkhnostnoy zony volokon v tekstil'noy tekhnologii (Role of the surface area fibers in textile technology) // IX International Scientific And Practical Workshop Smartex-2006. Ivanovo, 2006. P. 8 (in Russian)].
3. Жбанков Р. Г., Марупов Р. М. Спектроскопия хлопка. М.: Наука, 1976. 248 с. [Zhbankov R. G., Marupov R. M. Spektroskopiya khlopka (Spectroscopy of cotton). Moscow: Nauka, 1976. 248 p. (in Russian)].
4. Кутепов А. М., Максимов А. Н., Захаров А. Г. Плазменное модифицирование текстильных материалов: перспективы и проблемы // Российский химический журнал. 2002. Т. 46, № 1. С. 103–105. [Kutepov A. M., Maksimov A. N., Zakharov A. G. Plazmennoe modifitsirovanie tekstil'nykh materialov: perspektivy i problem (Plasma modification of textile materials: prospects and problems) // Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal (Russian Chemical Journal). 2002. Vol. 46, Iss. 1. P. 103–105 (in Russian)].

Поступила в редакцию 24.03.2015 г.