

УДК 687.03:677.11+677.027.625.11  
DOI 10.47367/0021-3497\_2022\_4\_128

**ВЛИЯНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА  
НА ЖЕСТКОСТЬ ТКАНОГО ПОЛОТНА\***

**INFLUENCE OF LINEN FIBER POLYMERIC COMPONENTS  
ON THE RIGIDITY OF WOVEN FABRIC**

*Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА<sup>1,2</sup>, Н.Л. КОРНИЛОВА<sup>1</sup>, С.А. КОКШАРОВ<sup>3</sup>, О.В. РАДЧЕНКО<sup>1,4</sup>*

*T.S. SOLODUSHENKOVA, N.L. KORNILOVA, S.A. KOKSHAROV, O.V. RADCHENKO*

(Ивановский государственный политехнический университет,  
Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,  
ООО "Лидертекс", г. Иваново)

(Ivanovo State Polytechnical University,  
Ufa State Petroleum Technical University,  
G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,  
Lidertex LLC, Ivanovo)

E-mail: nkorn@mail.ru

*Трудности создания широкого ассортимента одежды из льна связаны с повышенной природной жесткостью волокна. Ферментативные способы умягчения льняных материалов, наряду с экологичностью производственных процессов и получаемой продукции, обеспечивают возможность селективного воздействия на биополимерные компоненты волокна и высокую устойчивость эффекта при эксплуатации изделия. На примере ткани с натуральной серой окраской волокна проведено исследование влияния селективного извлечения лигнина и гемицеллюлоз, а также ферментативной модификации целлюлозы на изменение жесткости материала. Содержание лигнина варьировали в интервале 5,1...0,2 мас.% путем экстракции диоксаном. Селективное извлечение гемицеллюлоз с изменением их содержания от 8,4 до 2,2 мас.% обеспечивали гомогенными препаратами эндогалактаназы и эндоксилаказы. Жесткость ткани на изгиб оценивали консольным методом. Получена математическая модель влияния полимерных спутников льняной целлюлозы на жесткость ткани, отражающая разнонаправленное влияние*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Фонда содействия инновациям № 3480ГС1/57516 «Разработка лабораторной технологии градиентного умягчения льняных полуфабрикатов с использованием жидкостной и маломодульной ферментативной обработки и лабораторных образцов ферментных препаратов, изготовление и исследование лабораторных образцов швейных изделий легкого и костюмного ассортимента».

лигнина и гемицеллюлоз в разных структурных зонах волокна. В ткани из серого льняного волокна усиление жесткости под влиянием лигнина компенсируется эластичностью структурных участков, формируемых разветвленными макромолекулами гемицеллюлоз. Показано, что снижение жесткости материалов возможно за счет регулируемой деструкции лигнина или целлюлозы при максимальном сохранении гемицеллюлозных соединений. Наименьший уровень жесткости достигается при содержании в волокне лигнина 1,0...1,5 мас.%, гемицеллюлоз 6,5...7 мас.%. Предложенные методы биомодификации с использованием целлюлаз обеспечивают снижение жесткости исходной ткани в 1,23 раза.

*The increased natural stiffness of linen fiber causes certain difficulties during creating a wide range of linen clothing. Enzymatic methods of linen materials softening, along with the environmental friendliness of processes and products, provide the possibility of a selective effect on the biopolymer components of the fiber and a high stability of the effect during wearing clothes. For a fabric with a natural gray fiber color (self-color of flax), we studied the effect of selective extraction of lignin and hemicelluloses, as well as enzymatic modification of cellulose on a change in the stiffness of the material. We varied the content of lignin in the range of 5.1...0.2 wt.% by extraction with dioxane, and the selective extraction of hemicelluloses was provided by homogeneous preparations of endogalactanase and endoxylanase with a change in their content from 8.4 to 2.2 wt.%. The bending stiffness of the fabric was evaluated by the cantilever method. As a result, we have obtained a mathematical model of flax cellulose polymer satellites influence on the stiffness of the fabric, which reflects the multidirectional influence of lignin and hemicelluloses in different structural zones of the fiber. We found that in a fabric made of gray flax fiber, the increase in stiffness under the influence of lignin is compensated by the elasticity of the structural regions formed by branched hemicellulose macromolecules. The article shows that the reduction of the stiffness of materials is possible due to the controlled destruction of lignin or cellulose with the maximum preservation of hemicellulose compounds. The lowest level of rigidity is achieved when the content of lignin in the fiber is 1.0 ... 1.5 wt.%, hemicelluloses 6.5 ... 7 wt.%. The proposed methods of biomodification using cellulases provide a 1.23-times decrease in the stiffness of the original fabric.*

**Ключевые слова:** льняная ткань, содержание лигнина и гемицеллюлоз, биомодификация, целлюлазы, жесткость на изгиб.

**Keywords:** linen fabric, lignin and hemicellulose content, biomodification, cellulases, bending stiffness.

Одним из базовых свойств материалов, определяющих возможность создания заданной объемно-силуэтной формы швейных изделий, является жесткость полотен при изгибе [1], [2]. Проблема моделирования упругодеформационных свойств стоит особо остро при создании одежды из льноволокнистых материалов, обладающих высокой природной жесткостью, которую связывают, прежде всего, с присутствием лиг-

нина [3]. Требуется выяснения также и роль гемицеллюлозных соединений, присутствие которых, по мнению биологов [4], обеспечивает растениям устойчивость к действию внешних нагрузок и способствует восстановлению исходного состояния, что позволяет называть их "мышцами" растений, обладающими сократительными свойствами.

Постоянно совершенствуются методы снижения жесткости тканей из целлюлоз-

ных волокон с использованием химических смягчителей, в частности, на основе четвертичных аммониевых соединений и силиконовых препаратов [5], [6]. Однако их применение сопряжено с рядом недостатков, в том числе придаваемое тканям ощущение жирности, низкая биологическая расщепляемость смягчителей и кратковременность эффекта в связи с вымыванием препаратов в процессах стирки [7]. В связи с этим в практику эксплуатации одежды из целлюлозных волокон вошло регулярное применение при стирке умягчающих кондиционеров, в частности, на основе катионных поверхностно-активных веществ [8].

Вместе с тем, известны рекомендации по снижению жесткости льняных материалов за счет воздействия ферментных препаратов на основной волокнообразующий полимер – целлюлозу [9...11]. Важные преимущества ферментативного умягчения перед использованием химических смягчителей заключаются в устойчивости эффекта к последующим стиркам [12], а также в возможности селективного воздействия на нужный вид биополимерных компонентов. Однако в вопросах выбора объекта воздействия между исследователями нет единого мнения.

Цель настоящего исследования состоит в выявлении зависимости "состав–свойство", позволяющей регулировать уровень жесткости деталей швейного изделия за счет целенаправленного воздействия на биополимерную систему льноволокнистого материала.

#### *Материалы и методы исследования*

В исследовании использовали серую льняную ткань арт. 115 (Оршанский льнокомбинат, Беларусь).

Анализ полимерного состава льняного волокна исходной и модифицированной

ткани проводили согласно [13] путем последовательной экстракции компонентов и фотометрического анализа их окрашенных комплексов с о-толуидином. Пектин извлекали 1%-ным раствором лимоннокислого аммония, гемицеллюлозы – 2%-ным раствором HCl, целлюлозу – 0,1%-ным медно-аммиачным раствором. Содержание лигнина в остатке определяли весовым методом.

Для экстракции лигнина использовали диоксан, варьируя длительность воздействия. Для селективного извлечения гемицеллюлоз ткань обрабатывали раствором гомогенных препаратов эндогалактаназы и эндоксилазы (фирма ICN).

Измерение жесткости образцов ткани (EI, мН·см<sup>2</sup>) осуществляли консольным методом на приборе ПТ-2 в соответствии с ГОСТ 10550–93.

#### *Обсуждение результатов*

Для сохранения благородного серого оттенка исследуемая ткань изготавливается из волокна, подвергнутого только щелочной варке без воздействия окислителей, и характеризуется высоким содержанием лигнина (Л) и гемицеллюлозных соединений (Г): 5,1 и 8,4 мас.% соответственно. При этом материал обладает жесткостью более 85,5 мН·см<sup>2</sup>, что превышает желаемый уровень показателя для большинства изделий мягкопластичных и мягкофиксированных форм. В частности, такая ткань не позволяет получить изделия мягкой формы, прилегающие к телу в области талии или свободно струящиеся ниже бедер.

В табл. 1 приведены результаты анализа жесткости образцов льняной ткани при варьировании остаточного содержания полимерных спутников льняной целлюлозы после экстракционных обработок.

Т а б л и ц а 1

Показатель жесткости ткани (EI, мН·см <sup>2</sup> ) при содержании в волокне полимеров								
лигнина, мас. %	гемицеллюлозных соединений, мас. %							
	8,4	7,4	7,1	6,5	5,9	4,6	3,4	2,2
5,1	83,51	83,01	83,27	84,34	86,16	92,69	-	-
4,4	54,46	53,95	54,21	55,29	57,11	63,64	-	-
3,5	26,41	25,91	26,17	27,24	29,06	35,59	44,75	56,91
2,7	10,27	9,77	10,02	11,10	12,93	19,46	28,61	40,77
2,1	3,60	3,10	3,35	4,42	6,25	12,78	21,94	34,10
1,5	1,58	1,08	1,33	2,40	4,23	10,76	19,92	32,08
1,1	2,82	2,32	2,57	3,65	5,47	12,00	21,15	33,32
0,2	13,17	12,67	12,92	14,00	15,82	22,35	31,51	43,67

Полученные результаты демонстрируют, что удаление лигнина способствует снижению показателя жесткости льняной ткани. Вместе с тем, глубокая делигнификация, обеспечивающая уровень остаточного содержания лигнина менее 1,5 мас.%, сопровождается нарастанием величины EI.

Примечательно, что при удалении гемицеллюлоз вслед за небольшим снижением величины EI в области  $\Gamma = 7...7,5$  мас.% наблюдается существенное нарастание жесткости ткани. При  $L = 3,5$  мас.% пони-

жение содержания гемицеллюлоз до 2 мас.% дает 2-кратный прирост показателя EI, что эквивалентно результату увеличения массовой доли лигнина до 4,4 мас.%.

Обработка экспериментальных данных с применением методов регрессионного анализа позволила описать комплексное влияние варьируемых параметров биополимерной системы льняного волокна на контролируемый показатель механических свойств ткани:

$$EI=77,49-19,91L+6,46L^2-15,97\Gamma+1,04\Gamma^2; \quad r=0,973 . \quad (1)$$

Использование биномиальной формы зависимости по каждой переменной в полученной модели отражает различие зон структурной дислокации биополимеров и разнонаправленное их влияние на величину жесткости ткани. Квадратичные члены уравнения (1) отражают роль массивных зон дислокации жесткошитых структур лигнина между элементарными льняными волокнами, а также гемицеллюлоз в поверхностном слое инкрустов. Линейные члены уравнения (1) описывают влияние лигноуглеводного комплекса в структуре элементарного волокна.

Представленные на рис. 1 концентрационные зависимости результирующего вклада полимеров в изменение жесткости ( $\Delta EI$ ) ткани демонстрируют результат разнонаправленного действия лигнина и гемицеллюлоз в разных структурных зонах.

Для лигниновой компоненты квадратичный и линейный переменные в зависимости (1) уравнивают друг друга при  $L = 3,0$  мас.%. При дальнейшем уменьшении массовой доли лигнина показатель EI продолжает снижаться за счет преобладающего вклада линейного члена функции. Минимум соответствует значению  $L = 1,25$  мас.%, ниже которого величина суммарного вычитаемого вклада лигниновых веществ начинает сокращаться, обращая результат глубокой делигнификации в негативный эффект повышения жесткости ткани.

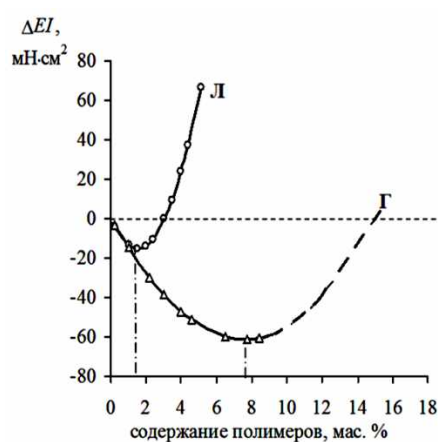


Рис. 1

Представленные результаты демонстрируют важность сохранения гемицеллюлозных соединений в волокне на стадиях обработки льняных тканей. Однако даже при подготовке волокна в наиболее щадящем режиме для производства "серых" полотен достигается оптимум в извлечении полимера из элементарных волокон и из окружающих их связующих веществ.

Расчеты показывают, что квадратичный и линейный члены уравновешивают друг друга за пределами экспериментально исследуемого интервала — при значении  $\Gamma = 14,5$  мас.%, когда большая часть гемицеллюлоз дислоцируется в массивных инкрустирующих образованиях на поверхности лубяных пучков. Удаление инкрустов является технологически оправданной стадией разрушения полисахаридных спутни-

ков льняной целлюлозы, но этот процесс практически полностью завершается при подготовке волокна к прядению [13...15]. Кривая Г на рис. 1 наглядно отражает, что при производстве отбеленного и окрашенного ассортимента льняных тканей последующие за щелочной варкой химические обработки (окислительная варка ровницы, белиение тканей) неминуемо приведут к побочному эффекту – повышению жесткости ткани.

Разработанная математическая модель "состав – свойство" позволяет определить технологический оптимум остаточного содержания лигнина и гемицеллюлоз для обеспечения наименьшего уровня жесткости льняной ткани: Л = 1,0...1,5 мас.% и Г = 6,5...7 мас.%. Следовательно, при обосновании субстратной селективности действия компонентов полиферментной композиции для умягчающей отделки льняных материалов важно учитывать, насколько далеко фактическое содержание лигнина и гемицеллюлоз в используемых льняных полотнах от указанного концентрационного оптимума.

Свободный член уравнения (1), по-видимому, можно рассматривать как вклад структурного фактора в величину показателя жесткости ткани, для обозначения ко-

торого вводим символ СФ. Величина структурного фактора отражает роль линейной плотности и степени крутки пряжи, вида переплетения и других параметров текстильного продукта. Вместе с тем, параметр СФ можно использовать для характеристики изменений в структуре элементарного волокна, происходящих в условиях ферментативного воздействия на целлюлозу. С этой целью уравнение (1) преобразуем для вычленения из экспериментально определяемых значений жесткости биомодифицированных образцов ткани ( $EI^{эксп}$ ) составляющих, которые приносятся присутствующими в волокне образованиями лигнина и гемицеллюлоз:

$$СФ = EI^{эксп} + 19,91Л - 6,46Л^2 + 15,97Г - 1,04Г^2. \quad (2)$$

Информативность предложенного критерия отражают представленные в табл. 2 результаты воспроизведения известного способа ферментативного мягчения [9] с применением целлюлазной композиции Целловиридин Г20х (производился Бердским заводом биологических препаратов), а также при обработке четырьмя промышленно выпускаемыми в настоящее время целлюлазными препаратами.

Т а б л и ц а 2

№ п/п	Биопрепарат	Л, мас.%	Г, мас.%	$EI^{эксп}$ , мН·см <sup>2</sup>	СФ, мН·см <sup>2</sup>
0	—	5,1	8,4	83,51	77,49
1	Целловиридин Г20х	5,1	5,9	78,83	70,15
2	Rucolase ZLL (Rudolf Chemie, Германия)	5,1	8,4	73,53	67,50
3	Conzyme TM90 (Sunson group, Китай)	5,1	7,2	67,92	62,51
4	ЦеллоЛюкс А (Сиббиофарм, Россия)	5,1	5,7	78,43	69,19
5	Целлюзим ультра (Энзим, Украина)	5,3	3,3	86,44	51,88

Воздействие целлюлазных препаратов не приводит к снижению содержания лигнина в льняных материалах. Относительная величина показателя может даже повышаться при снижении массы биомодифицированного образца в результате существенной деструкции гемицеллюлозных соеди-

нений, что зафиксировано в случае обработки препаратом Фекорд 2012С.

При обработке ткани Целловиридином Г20х наряду с целевым каталитическим воздействием на целлюлозу наблюдается деструкция гемицеллюлоз. Уменьшение их содержания в льняном материале на 1/3 яв-

ляется неблагоприятным побочным эффектом. Тем не менее, величина  $EI^{эксп}$  снижается в 1,06 раза, что обусловлено влиянием целлюлаз на состояние клеточной стенки элементарных волокон.

Препарат Rucolase ZLL благодаря селективному воздействию на микрофибриллы целлюлозы обеспечивает снижение жесткости исключительно за счет изменения величины структурного фактора в 1,15 раза. Вместе с тем, надо учитывать, что промышленные целлюлазные препараты часто содержат в своем составе эндогенные ферменты  $\beta$ -глюканазного и ксиланазного комплексов, катализирующие гидролиз гемицеллюлозных соединений [16]. При этом и целлюлаза (эндо-1,4- $\beta$ -глюканаза) также способна катализировать деполимеризацию не только макромолекул целлюлозы, но и разветвленных  $\beta$ -глюканов.

Деструкция гемицеллюлоз допустима, как отмечалось, лишь до уровня технологического оптимума по величине их остаточного содержания (6,5...7 мас.%). Это наглядно демонстрирует результат модификации волокнистого материала препаратом Conzyme TM90. В этом случае общее снижение величины показателя  $EI^{эксп}$  на 15,59 мН·см<sup>2</sup> лишь на 4% обусловлено удалением избыточного количества гемицеллюлоз и на 96% определяется уменьшением значения структурного фактора.

Максимальное понижение величины СФ (в 1,5 раза) обеспечивает воздействие препарата Целлюзим ультра. Однако чрезмерная побочная деструкция гемицеллюлозных соединений полностью нивелирует результат структурной модификации целлюлозной основы волокнистого материала.

Уравнение (2) позволяет сопоставить значимость структурного фактора и результирующего влияния массовой доли полимерных спутников целлюлозы в изменение уровня жесткости биомодифицированных материалов. На рис. 2 представлена графическая интерпретация весомости вклада варьируемых параметров ( $\Delta EI$ ) в интегральную величину показателя  $EI^{эксп}$  с сохранением нумерации образцов, указанной в табл. 2.

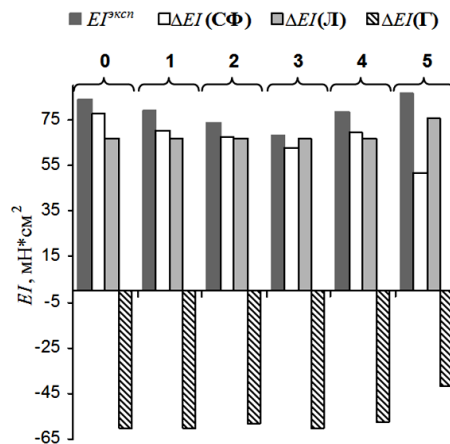


Рис. 2

Из диаграммы следует, что как для исходного образца (0), так и для биомодифицированных образцов 1...4 благоприятное соотношение содержания в волокне полимерных спутников льняной целлюлозы обеспечивает компенсацию усиления жесткости под влиянием лигнина  $\Delta EI(Л)$  за счет эластичности структурных участков, формируемых разветвленными макромолекулами гемицеллюлоз  $\Delta EI(Г)$ . Снижение вклада структурного фактора за счет деполимеризующего воздействия на целлюлозу  $\Delta EI(СФ)$  определяет эффективность изменения результирующего показателя  $EI^{эксп}$ .

В образце 5 баланс между разнонаправленным действием лигнина и гемицеллюлоз нарушается и, несмотря на эффективное понижение вклада структурного фактора, желаемый эффект умягчения серого льняного полотна достичь не удастся в результате доминирующего влияния присутствующих в материале межволоконных одревеснений.

## В Ы В О Д Ы

Режимы подготовки льняного волокна для получения тканых полотен с натуральной серой окраской обеспечивают сбалансированное содержание лигнина и гемицеллюлозных соединений, которое компенсирует их разнонаправленное влияние на уровень жесткости и обеспечивает необходимые деформационные свойства материала для формирования пряжи и тканого полотна. Для снижения жесткости серых тка-

ней возможно использование нескольких альтернативных вариантов.

Величина показателя жесткости понижается при уменьшении содержания в волокне лигнина, что будет сопровождаться ослаблением натуральной окраски волокна. Показана необходимость предотвращения чрезмерного удаления гемицеллюлозных соединений, способствующих проявлению эластичности льняных материалов. Получена корреляционная зависимость для описания влияния полимерных спутников льняной целлюлозы на жесткость льняной ткани при изгибе. Наименьший уровень жесткости достигается при остаточном содержании в волокне лигнина 1,0...1,5 мас.% и гемицеллюлозных соединений 6,5...7 мас.%.

Снижение жесткости льняной ткани может быть достигнуто при регулируемом ферментативном воздействии на основной волокнообразующий полимер. Для оценки действия целлюлаз предложена зависимость, позволяющая вычленить величину показателя "структурный фактор (СФ)", который на 95% определяет уровень жесткости исходной льняной ткани и чувствительно реагирует на деполимеризацию микрофибрилл целлюлозы. Максимально достигнуто снижение величины СФ на 25,6 мН·см<sup>2</sup>, что составляет более 30% от уровня жесткости исходной ткани. При этом важно контролировать нежелательное побочное воздействие ферментных препаратов на гемицеллюлозные соединения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко С.В., Маринкина М.А., Чагина Л.Л., Смирнова Н.А. Влияние жесткости полотен на силуэтные линии формы элементов швейных изделий // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С. 25...29.
2. Plaut R.H. Formulas to determine fabric bending rigidity from simple tests // Text. Res. J. – 2015, 85. P.884...894.
3. Day A., Ruel K., Neutelings G. et al. Lignification in the flax stem: evidence for an unusual lignin in bast fibers // Planta. – 2005, 222. P. 234...245.
4. Gorshkova T, Chernova T, Mokshina N, et al. Plant 'muscles': fibers with a tertiary cell wall // New Phytol. – 2018, 218, 1. P. 66...72.
5. Teli M.D. Softening finishes for textiles and clothing / In: Roshal P. ed. Functional finishes for tex-

tiles: improving comfort, performance and protection. Publishing Ltd., London, U.K. 2015. P. 123...152.

6. Ogorzalek M, Wasilewski T, Klimaszewska E. Evaluation of fabric softener formulations with high concentrations of cationic surfactant // Tenside, Surfactants, Deterg. – 2019, 56, 2. P. 105...111.

7. Eladwi M.M.T., Kotb R.M. Minimalism as a concept textile finishing and fashion design // IJTFT. – 2015, 5, 4. P. 1...14.

8. Murphy D.S. Fabric softener technology: a review // J. Surfact. Deterg. – 2015, 18. P. 199...204.

9. Головина Л.А., Садова С.Ф., Переволоцкая В.К. Исследование применения ферментных препаратов целлюлолитического действия в заключительной отделке льняных тканей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2008, № 3. С.65...69.

10. Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al. Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // Text. Res. J. – 2022. P. 1...22. <https://doi.org/10.1177/00405175221101018>

11. Yasinskaya N., Lenko K., Skobova N., Lisovsky D. Method for refining terry products using biotechnology // AIP Conference Proceedings. – 2022, 2430, 070004. P. 1...6. <https://doi.org/10.1063/5.0077289>.

12. Namligöz E., Bahtiyari M., Körlü A. et al. Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the kawabata evaluation system // J. Test. Eval. – 2008, 36, 4. P. 384...391.

13. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // Autex Res. J. – 2015, 15, 3. P. 215...225.

14. Алеева С.В., Кокушаров С.А. Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // Российский химический журнал – 2011, 55, 3. P. 46...58.

15. Алеева С.В., Кокушаров С.А. Влияние химических способов подготовки льняного волокна на свойства формируемой пряжи // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С.94...98.

16. Грачева И.М., Кривова А.Ю. Технология ферментных препаратов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во "Элевар", 2000.

#### REFERENCES

1. Boyko S.V., Marinkina M.A., Chagina L.L., Smirnova N.A. The impact of bending stiffness of fabrics on the silhouette line of the elements form of clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2015, №6. P. 25...29.
2. Plaut R.H. Formulas to determine fabric bending rigidity from simple tests // Text. Res. J. – 2015, 85. P.884...894.
3. Day A., Ruel K., Neutelings G. et al. Lignification in the flax stem: evidence for an unusual lignin in bast fibers // Planta. – 2005, 222. P. 234...245.

4. Gorshkova T, Chernova T, Mokshina N, et al. Plant 'muscles': fibers with a tertiary cell wall // *New Phytol.* – 2018, 218, 1. P. 66...72.
  5. Teli M.D. Softening finishes for textiles and clothing / In: Roshal P. ed. *Functional finishes for textiles: improving comfort, performance and protection.* – Publishing Ltd., London, U.K. 2015. P. 123...152.
  6. Ogorzalek M, Wasilewski T., Klimaszewska E. Evaluation of fabric softener formulations with high concentrations of cationic surfactant // *Tenside, Surfactants, Deterg.* – 2019, 56, 2. P. 105...111.
  7. Eladwi M.M.T., Kotb R.M. Minimalism as a concept textile finishing and fashion design // *IJTFT.* – 2015, 5, 4. P. 1...14.
  8. Murphy D.S. Fabric softener technology: a review // *J. Surfact. Deterg.* – 2015, 18. P. 199...204.
  9. Golovina L.A., Sadova S.F., Perevolotskaya V.K. Study of the use of enzyme preparations of cellulolytic action in the final finishing of linen fabrics // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2008, №3. P. 65...69.
  10. Koksharov S.A., Bikbulatova A.A., Kornilova N.L. et al. Justification of an approach to cellulases application in enzymatic softening of linen fabrics and clothing // *Text. Res. J.* – 2022. P. 1...22. <https://doi.org/10.1177/00405175221101018>
  11. Yasinskaya N., Lenko K., Skobova N., Lisovsky D. Method for refining terry products using biotechnology // *AIP Conference Proceedings.* – 2022, 2430, 070004. P. 1...6. <https://doi.org/10.1063/5.0077289>.
  12. Namligöz E., Bahtiyari M., Körlü A. et al. Evaluation of finishing processes for linen fabrics using the kawabata evaluation system // *J. Test. Eval.* – 2008, 36, 4. P. 384...391.
  13. Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // *Autex Res. J.* – 2015, 15, 3. P. 215...225.
  14. Aleeva S., Koksharov S. Chemistry and technology of biocatalyzed nanoengineering of linen textile materials // *Russ. J. Gen. Chem.* – 2012, 82, 13. P.2279...2293.
  15. Aleeva S.V., Koksharov S.A. Effect of chemical ways to prepare flax fiber formed on the properties of yarn // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* – 2015, №6. P.94...98.
  16. Gracheva I.M., Krivova A.Yu. *Technology of Enzymatic Preparations.* – Moscow: Elevar, 2000.
- Рекомендована НОЦ "Центр компетенций текстильной и легкой промышленности" ИВГПУ. Поступила 12.08.22.
-