

**ПРИМЕНЕНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОГО МЯГЧЕНИЯ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛЬНЯНЫХ ИЗДЕЛИЙ  
ПЛАТЬЕВО-БЛУЗОЧНОГО АССОРТИМЕНТА\***

**THE USE OF ENZYMATIC SOFTENING IN THE PRODUCTION  
OF LINEN DRESSES AND BLOUSES**

*C.B. АЛЕЕВА<sup>1</sup>, O.B. РАДЧЕНКО<sup>1</sup>, С.А. КОКШАРОВ<sup>2</sup>, Т.С. СОЛОДУШЕНКОВА<sup>1,3</sup>, Е.В. ЗОБНИНА<sup>4</sup>*  
*S.V. ALEEVA<sup>1</sup>, O.V.RADCHENKO<sup>1</sup>, S.A. KOKSHAROV<sup>2</sup>, T.S. SOLODUSHENKOVA<sup>1,3</sup>, E.V. ZOBNINA<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Ивановский государственный политехнический университет,  
<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, г. Иваново,  
<sup>3</sup>Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
<sup>4</sup>ООО «Лидертекс», г. Иваново)

<sup>1</sup>Ivanovo State Polytechnic University,  
<sup>2</sup>G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Ivanovo,  
<sup>3</sup>Ufa State Petroleum Technical University,  
<sup>4</sup>LLC "Lidertex", Ivanovo)

E-mail: svetlana19750710@gmail.com

*Работа посвящена актуальным вопросам расширения сферы использования льняных тканей в производстве одежды. Избыточная жесткость материалов затрудняет создание модных объемно-силуэтных форм, так как большинству из них присуща вариативность требуемого уровня жесткости материалов на разных участках в зависимости от объемной формы. Новые биохимические технологии позволяют реализовать метод градиентного мягчения деталей швейного изделия. Модификация плательных тканей проведена по варианту жидкостной обработки с использованием прочно адсорбирующихся целлюлаз с размером глобулы более 30 нм. Проведено экспериментальное исследование влияния активности целлюлаз на снижение жесткости материалов. Получена обобщенная модель регулируемого мягчения деталей изделия с учетом показателей жесткости исходного материала. Оценено влияние биообработки на изменение разрывной нагрузки и разрывного удлинения. Выявлена корреляция между показателями жесткости и формуемости биомодифицированных материалов. Установлено, что воздействие ферментов в зоне первичной клеточной стенки льняного волокна хоть и способствует значительному снижению жесткости, но не обеспечивает значимого повышения несминаемости материалов.*

*The work is devoted to topical issues of expanding the use of linen fabrics in the production of clothing. Excessive rigidity of materials makes it difficult to create fashionable three-dimensional silhouette forms. We demonstrate the variability of the required level of materials rigidity in different areas of a woman's dress, depending on the volumetric shape. New biochemical technologies make it possible to implement a method of gradient softening of sewing product parts. The modification of dresses fabrics was carried out according to the variant of liquid treat-*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (гос. контракт №3480ГС1/57516) с использованием оборудования ЦКП «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

*ment using highly adsorbed cellulases with a globule size of more than 30 nm. An experimental study of the effect of cellulase activity on reducing the stiffness of materials was carried out. A generalized model of controlled softening of product parts is obtained, taking into account the stiffness of the source material. The influence of bio-treatment on the change in breaking load and breaking elongation is estimated. The correlation between the indicators of rigidity and formability of biomodified materials is revealed. It has been established that the effect of enzymes in the zone of the primary cell wall of flax fiber, although it contributes to a significant decrease in stiffness, does not provide a significant increase of material crease resistance.*

**Ключевые слова:** льняная одежда, мягчение полуфабрикатов, целлюлаза, жесткость при изгибе, формуемость, разрывная нагрузка, разрывное удлинение, несминаемость.

**Keywords:** linen clothing, softening of semi-finished products, cellulase, bending stiffness, formability, breaking load, breaking elongation, crease resistance.

Подбор материалов и регулирование их жесткости осуществляются не только для улучшения сенсорного комфорта одежды, но и для повышения технологичности ее изготовления и эксплуатационных свойств продукции [1, 2]. Способность плоской текстильной структуры деформироваться, чтобы соответствовать трехмерной поверхности без образования складок, перегибов или разрывов, характеризуется показателем формуемости (*formability*) [3]. Этот показатель зависит от различных свойств ткани, таких, как волокнистый состав, тип переплетения, степень крутки и плотность нитей. Основными характеристиками, связанными с формуемостью, являются формовочная способность, растяжимость при небольших нагрузках, уровень жесткости при изгибе [4, 5].

При изготовлении одежды платьевоблузочного ассортимента основные трудности возникают в связи с повышенной жесткостью льняных тканей, достигающей  $20 \text{ мН} \cdot \text{см}^2$  и более. Как правило, в этом случае применяются ткани с полным циклом подготовки в отбеленном или окрашенном виде либо с набивными рисунками. При прохождении подготовительных операций жесткость ткани возрастает, что связывают с извлечением гемицеллюлоз, разветвленные макромолекулы которых способствуют аморфизации льняного волокна и подвижности его структурных фрагментов

[6, 7]. Из жесткого материала невозможно получить изделия мягкой формы, прилегающие к телу в области талии или свободно струящиеся ниже бедер. С увеличением жесткости возрастает сминаемость материала, что приводит к ухудшению внешнего вида изделия при эксплуатации.

Разные виды финишной отделки могут как понижать, так и повышать жесткость льняных тканей [8]. При этом показано [9], что любой вид умягчающей отделки делает ткани более эластичными и улучшает формуемость. Однако химические смягчители, не имея прочной связи с волокном, вымываются в процессе стирок, что нарушает форму изделия. Стабильное улучшение формуемости без применения смягчителей могут обеспечить добавки к лубяному сырью более мягких волокон, например акриловых [10].

Эффект перманентного (устойчивого к многократным стиркам) смягчения достигается с помощью биохимической модификации льняного волокна, в частности с применением целлюлаз [11, 12]. Стимулом к поиску эффективных биотехнологических решений являются современные успехи генной инженерии в создании новых ферментных препаратов с узконаправленным спектром субстратного действия, более высокой стабильностью и меньшей стоимостью, что способствует расширению их использования малыми и средними предприятиями в сфере текстильной и легкой промышленности [13].

Основной задачей оптимизации условий мягчения целлюлазами является сокращение неминуемых потерь прочности материалов [14, 15]. Нами найден эффективный подход к снижению жесткости без негативных изменений физико-механических показателей за счет пространственной локализации действия целлюлаз в зоне первичной клеточной стенки льняного волокна [16]. В этом случае дополнительными критериями отбора ферментов для ограничения их проникновения вглубь волокна являются размер глобулы целлюлаз и прочность их адсорбции на твердофазном субстрате. Разрабатываемая технология способна решать важнейшую для швейного производства задачу зонированного изменения упруго-деформационных свойств материалов для создания необходимой объемной формы изделий.

В конструкции любого вида одежды характерно сочетание различных требований к жесткости материала на разных участках изделия. Желаемый уровень жесткости условных зон изделий платьевоблузочного ассортимента с разными объемно-силуэтными формами определен нами на основании анализа образцов женской одежды из различных материалов, считающихся «эталонными» при пошиве: шерстяных, хлопчатобумажных, смесовых. На рис. 1 показано распределение условных зон в конструкции женского платья. В табл. 1 указаны диапазоны значений жесткости зон для изделий разных объемно-силуэтных форм (подразделение по степени пластичности формы: «к» – каркасная, «м-ф» – мягко фиксированная, «м-п» – мягкопластичная; по объемности формы: «б» – большая, «у» – умеренная, «м» – малая).

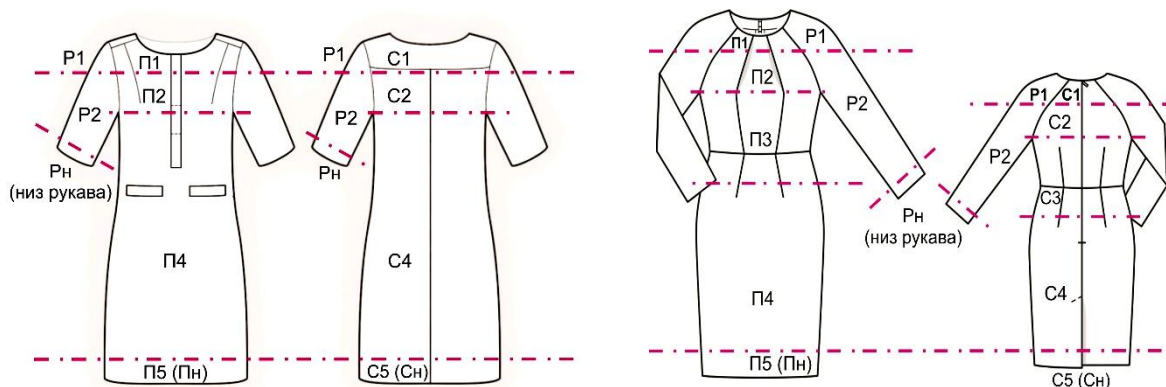


Рис. 1

Таблица 1

Условная зона изделия	Величина жесткости зоны $EI_3$ (мН·см <sup>2</sup> ) для вариантов объемной формы изделия								
	«б»			«у»			«м»		
	«м-п»	«м-ф»	«к»	«м-п»	«м-ф»	«к»	«м-п»	«м-ф»	«к»
П1; С1	5,1-9,0	9,5-16,6	17,7-32,0	3,4-6,2	6,4-12,5	15,0-26,3	2,2-4,2	4,3-8,5	8,9-17,5
П2; С2	3,7-7,3	7,5-12,4	13,8-26,0	2,5-4,4	5,3-8,6	11,1-21,0	1,6-2,9	3,1-6,5	7,5-14,6
П3*; С3*	4,0-7,9	8,2-14,7	16,0-32,4	2,9-5,7	5,8-12,0	13,0-23,8	1,8-3,7	3,8-7,6	8,0-15,9
П4; С4	2,5-5,0	5,1-8,5	10,1-20,0	1,7-3,0	3,6-6,8	7,6-15,0	1,1-2,0	2,1-4,5	5,1-10,0
П5; С5	3,4-6,3	7,0-11,5	13,5-27,5	2,1-3,9	5,0-8,5	9,6-19,0	1,4-2,5	2,7-5,8	6,4-13,0
Р1	2,5-7,0	5,1-12,0	10,1-31,5	1,7-4,2	3,6-9,0	7,6-23,0	1,1-2,7	2,1-6,0	5,1-15,2
Р2	2,5-5,0	5,1-8,5	10,1-20,0	1,7-3,0	3,6-6,8	7,6-15,0	1,1-2,0	2,1-4,5	5,1-10,0
Рн	3,4-6,3	7,0-11,5	13,5-27,5	2,1-3,9	5,0-8,5	9,6-19,0	1,4-2,5	2,7-5,8	6,4-13,0

\* Выделяется только в моделях прилегающего силуэта и отрезных по линии талии.

Данные табл. 1 демонстрируют нарастание жесткости с увеличением каркасности формы («м-п» → «м-ф» → «к» внутри одной объемной группы), а также с увеличением объема («м» → «у» → «б»). Максимальная жесткость наблюдается в плечевой зоне (П1, С1, Р1), минимальная – в зоне свободного расположения материала (П4, С4, Р2). Если исходный материал обладает большей жесткостью, чем требуется

симптомная жесткость наблюдается в плечевой зоне (П1, С1, Р1), минимальная – в зоне свободного расположения материала (П4, С4, Р2). Если исходный материал обладает большей жесткостью, чем требуется

для проектируемой модели, необходимо использование технологий умягчения ткани. Если жесткость материала меньше требуемого уровня, необходимо применение швов жестких конструкций и дополнительных деталей (обтачек и прокладок).

Желаемые значения жесткости для большинства изделий «м-п» и «м-ф» форм значительно ниже величины показателя для большинства льняных тканей отечественного производства. Решение проблемы возможно путем введения в технологический процесс швейного производства новых приемов [16] для регулируемого изменения жесткости узлов и деталей изделия. Данный вариант согласуется с современными тенденциями рациональной организации производства одежды, предусматривающей проведение операций промывки материалов для удаления производственных загрязнений и несвязанного формальдегида, для релаксации внутренних напряжений в волокне, а также для нанесения дополнительных отделочных композиций [17, 18].

Цель исследования состоит в выявлении закономерностей для управления процессами мягчения полуфабрикатов из легких льняных тканей с использованием жидкостного способа биомодификации, предусматривающего обработку деталей кроя в объеме раствора биопрепарата, достаточном для набухания волокна.

#### Материалы и методы

Использованы три вида легких льняных тканей, отобранных для экспериментальной технологии пошива моделей женского платья в условиях ООО «Лидертекс». Ткани имеют полотняное переплетение, характеризуются невысокими значениями поверхностной плотности (менее 100 г/м<sup>2</sup>) и не подвергались умягчающим обработкам в текстильном производстве.

Свойства целлюлазного препарата для жидкостного способа биомодификации подбирали в соответствии с рекомендациями [19]. Оценку размера частиц в гидрозоле биопрепарата проводили методом динамического рассеяния света на анализаторе Zetasizer Nano ZS. С учетом поперечных размеров пор в набухшем льняном волокне предпочтительно использование

ферментных комплексов, в составе которых более 80% частиц имеют размеры свыше 30 нм. Прочность сорбционного связывания целлюлаз определяли по поглощению белка микрокристаллической целлюлозой [20] с расчетом константы адсорбции Генри  $K_p$  (л/г) по данным равновесного распределения фермента между раствором и твердофазным субстратом:

$$K_p = \frac{[A_a]}{[A_t]} \cdot C = \frac{[A_0] - [A_t]}{[A_t]} \cdot C, \quad (1)$$

где  $[A_a]$  – количество адсорбированного фермента, определяется по разности между исходным уровнем активности целлюлазы в растворе  $[A_0]$  (ед./мл) и остаточной активности в супернатанте  $[A_t]$  (ед./мл) при длительности выдержки суспензии до центрифугирования  $t = 15$  мин;

$C$  – концентрация микрокристаллической целлюлозы в суспензии (г/л).

На рис. 2 приведены результаты экспериментальной оценки распределения по размеру частиц величины относительного объема дисперсной фазы в растворе используемого биопрепарата (а) и кинетики сорбционного связывания целлюлолитических ферментов на микрокристаллической целлюлозе (б).

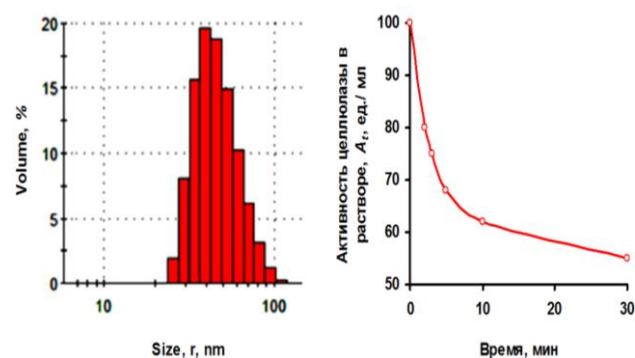


Рис. 2

Согласно приведенным на рис. 2 данным применяемый целлюлазный препарат имеет следующие значения регламентируемых технологических характеристик:

- суммарный объем фракций с размером более 30 нм  $V_m = 90\%$ ;
- константа адсорбции Генри  $K_p = 0,44$  л/г.

Подбор дозировки биопрепарата обеспечивал варьирование рабочих значений

активности целлюлазы в технологических растворах в диапазоне  $A = 20 \dots 45$  ед./мл.

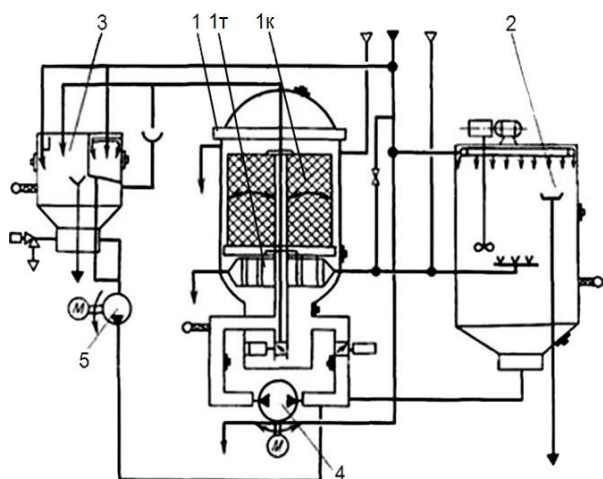


Рис. 3

На рис. 3 представлена схема установки, используемой для реализации жидкостного способа биомодификации льняных заготовок. Основными ее элементами являются: 1 – аппарат автоклавного типа с термостатом (1т) и перфорированной корзиной (1к) для образцов ткани; 2 – бак для приготовления раствора; 3 – бак для циркуляции раствора и введения реагентов во время обработки; 4 – циркуляционный насос; 5 – подпитывающий насос.

Установка предусматривает реверсивную циркуляцию жидкости от периферии к центру и обратно без механических воздействий на материал, что предупреждает его деформацию и обеспечивает сохранность геометрических параметров деталей кроя. Биообработку осуществляли в течение 40 мин при величине жидкостного модуля 20, рН 5,5 и температуре 40...45 °С. После промывки проточной водой образцы сушили в термошкафу при 80 °С в течение 4 ч, обеспечивая инактивацию ферментов.

Оценку технологических свойств льняных материалов осуществляли с применением стандартных методов текстильного материаловедения:

- жесткость при изгибе ( $EI$ , мН·см<sup>2</sup>) – консольным методом на приборе ПТ-2 в соответствии с ГОСТ 10550-93;

- разрывную нагрузку ( $P$ , кГс) и разрывное удлинение ( $L$ , %) – методом одно-

осного растяжения на разрывной машине согласно ГОСТ 3813-72;

- несминаемость в сухом и мокром состоянии – на приборе СМТ в соответствии с ГОСТ 19204-73.

Формуемость образцов ( $F$ , %) определяли по способности материалов повторять сферическую поверхность в соответствии с методом по патенту [21].

#### Результаты и обсуждение

В табл. 2 представлены характеристики исходного состояния исследуемых тканей в порядке присвоенной им нумерации.

Таблица 2

№ п/п	Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	Жесткость $EI_0 \pm 1,5$ мН·см <sup>2</sup>	
		основа	уток
1	90,4	14,5	45,7
2	84,6	33,1	10,1
3	74,0	21,6	25,8

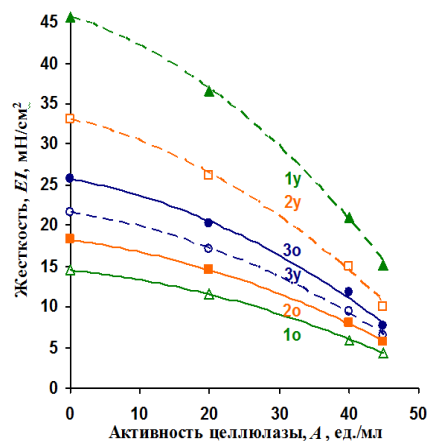


Рис. 4

Особенность отобранного ассортимента состоит в том, что только образец 3 характеризуется близким уровнем показателя жесткости в направлении нитей основы  $EI_0$  и утка  $EI_y$ . В образце 2 величина  $EI_0$  почти в 3 раза превышает значение показателя  $EI_y$ . В образце 1 устойчивость к изгибу в продольном и поперечном направлениях различается в 3 раза. Такое деформационное поведение текстильного материала представляет большую сложность в создании заданной объемной формы одежды. Применяемый способ биомодификации позволяет существенно сократить различие между значениями  $EI_0$  и  $EI_y$ . Об этом свидетельствуют представленные на рис. 4

зависимости влияния активности целлюлазы ( $A$ ) на изменение жесткости биомодифицированных образцов.

Прогрессирующее снижение жесткости с ростом величины  $A$  может быть описано полиномом второй степени с высокими значениями коэффициента детерминации  $R^2$ . Корреляционные уравнения для образца 1 в направлении нитей основы и утка имеют следующий вид:

$$EI_{1_0} = 14,517 - 0,0863 \cdot A - 0,0031 \cdot A^2; R^2 = 0,9994, \quad (2)$$

$$EI_{1_y} = 45,652 - 0,2631 \cdot A - 0,009 \cdot A^2; R^2 = 0,9995. \quad (3)$$

Изменение жесткости при биомодификации образца 2 описывается уравнениями:

$$EI_{2_0} = 33,039 - 0,195 \cdot A - 0,0068 \cdot A^2; R^2 = 0,9985, \quad (4)$$

$$EI_{2_y} = 18,182 - 0,1057 \cdot A - 0,0038 \cdot A^2; R^2 = 0,9996. \quad (5)$$

Для образца 3 справедливы уравнения:

$$EI_{3_0} = 21,573 - 0,1271 \cdot A - 0,0046 \cdot A^2; R^2 = 0,9993, \quad (6)$$

$$EI_{3_y} = 25,731 - 0,152 \cdot A - 0,0054 \cdot A^2; R^2 = 0,9968. \quad (7)$$

Несложно заметить, что величины свободного члена в уравнениях (2) – (7) соответствуют исходным значениям показателя жесткости  $EI_0$  для соответствующей группы нитей модифицируемых льняных полотен (см. табл. 2). Вынесением показателя  $EI_0$  за скобки в качестве общего множителя получаем обобщенную модель для подбора активности целлюлазы и достижения необходимого уровня жесткости умягченных деталей швейного изделия  $EI_s$ :

$$EI_s = EI_0 (1 - 0,0059 \cdot A - 0,0002 \cdot A^2). \quad (8)$$

Регулирование параметра  $A$  позволяет не только получить необходимое качество полуфабрикатов, но и минимизировать затраты на биообработку. Технология предполагает дальнейшее применение растворов с пониженным уровнем  $A$  для обработки следующих групп деталей изделия, требующих меньшую степень умягчения. Определенная группа деталей с учетом свойств материала может использоваться при монтаже изделия без умягчающей отделки.

Данные табл. 3 демонстрируют наибольшую величину отклонения разрывных характеристик льняных материалов при максимальной активности целлюлаз в технологическом растворе ( $A = 45$  ед.мл).

Таблица 3

№ п/п	Мягчение	Разрывная нагрузка $P \pm 0,5$ кгс		Разрывное удлинение $L \pm 0,7$ %	
		основа	уток	основа	уток
1	–	45,5	56,0	21,9	14,9
	+	43,5	53,5	23,7	21,9
2	–	47,0	35,5	17,4	21,3
	+	44,5	34,5	22,5	22,5
3	–	35,5	58,0	14,5	13,0
	+	33,5	55,5	18,7	17,4

Полученные результаты свидетельствуют, что используемый вариант биомодификации льняных материалов, обеспечивая снижение жесткости в 3...3,5 раза, практически не ухудшает прочностные свойства материалов. Снижение показателя разрывной нагрузки ( $P$ ) не превышает 4...7%. При этом величина разрывного удлинения ( $L$ ) после биомодификации возрастает в 1,1...1,5 раза. Это характеризует улучшение деформационной способности волокна и закономерно отражается в повышении пластичности льняных полуфабрикатов. Показатели формуемости материалов после биомягчения возрастают в 1,3...1,7 раза. На рис. 5 сопоставлены значения жесткости и формуемости материалов до и после умягчения ( $A = 45$  ед./мл).

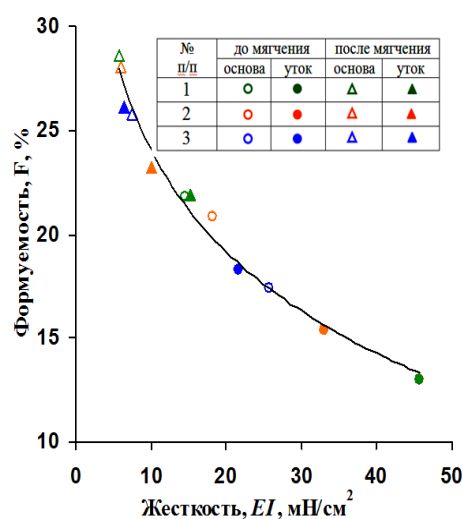


Рис. 5

Обратная пропорциональность в изменении этих важных технологических характеристик льняных полуфабрикатов с высокой степенью корреляции аппроксимируется логарифмической зависимостью:

$$F = 40,278 - 7,09 \cdot \ln EI_s; R^2 = 0,9819. \quad (9)$$

Совместное решение уравнений (8) и (9) позволяет проектировать необходимый уровень формуемости ткани в определенных зонах швейного изделия для создаваемой объемно-силуэтной формы.

С учетом сведений о получении на джинсовых тканях комплексных эффектов ферментативного умягчения и повышения несминаемости [8, 22] проведена оценка влияния периферийного воздействия целлюлаз в поверхностном слое льняного волокна на способность материала сохранять форму под действием сминающих нагрузок. В табл. 4 представлены данные изменения устойчивости образцов к смятию в сухом и мокром состоянии после биообработки ( $A = 45$  ед./мл).

Таблица 4

№ п/п	Мягчение	Несминаемость, %			
		сухое состояние		мокрое состояние	
		основа	уток	основа	уток
1	–	32,6	33,8	33,8	38,6
	+	37,4	38,1	44,7	46,0
2	–	27,9	26,4	33,5	34,0
	+	33,1	37,6	44,3	45,3
3	–	30,4	26,9	34,2	38,6
	+	35,7	33,1	39,2	42,5

Несминаемость в сухом состоянии возрастает в 1,04...1,4 раза, в мокром состоянии – в 1,1...1,34 раза. Вместе с тем полученные результаты далеки от требуемого уровня показателей согласно ГОСТ 15968-87. В лучшем случае можно стремиться к достижению требований для отделки «ЛП» (в мокром состоянии не менее 45%). При воздействии сминающей нагрузки в сухом состоянии полученные результаты в 1,2...1,4 раза хуже установленного норматива для отделки «МС» (не менее 42%). Следовательно, повышение эксплуатационных свойств льняной одежды является актуальной задачей для дальнейших исследований.

Получено экспериментальное обоснование возможности реализации технологии градиентного мягчения полуфабрикатов при изготовлении льняной одежды, которая обеспечивает получение деталей кроя с уровнем жесткости материала, соответствующим требованиям для определенных конструкционных зон в изделиях различных объемно-силуэтных форм. Вариант жидкостной биообработки предполагает использование прочно адсорбирующихся целлюлаз, характеризующихся величиной константы адсорбции Генри 0,44 л/г и 90%-ным содержанием глобул биокатализатора с размером более 30 нм.

Получены зависимости для описания влияния активности целлюлазы в технологическом растворе на эффективность мягчения с учетом исходного уровня жесткости материала в направлении нитей основы и утка. Варьирование активности фермента в диапазоне 20...45 ед./мл обеспечивает регулируемое снижение жесткости в 1,3...3,5 раза. При этом максимальное снижение разрывной нагрузки образцов не превышает 7%.

Выявлено корреляционное соотношение для оптимизации условий биообработки и достижения необходимого уровня формуемости умягченных льняных материалов. Показано, что специфические условия периферийного воздействия целлюлаз в структуре льняного волокна улучшают восстановление материалов после смятия в мокром состоянии. Однако уровень несминаемости в сухом состоянии в 1,2...1,4 раза ниже нормативных требований для малосминаемой отделки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Го М., Кузьмичев В.Е. Прогнозирование объема и комфортности систем «фигура-платье» из разных материалов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2014. № 1. С. 129...136.
2. Ezazshahabi N., Mousazadegan F., Saharkhiz S. et al. Determining formability function of worsted woven fabrics in terms of fabric direction // J. Eng. Fibers Fabr. 2015, 10, 2. P. 1...10. – <https://doi.org/10.1177/155892501501000201>
3. Mozafary V., Payvandy P., Bidoki S.M. et al. Predicting the influence of seam design on formability

and strength of nonwoven structures using artificial neural network // *Fibers Polym.* 2013, 14, 9. P. 1535...1540. – <https://doi.org/10.1007/s12221-013-1535-z>

4. *Sztandera LM, Cardello AV, Winterhalter Cet al.* Identification of the most significant comfort factors for textiles from processing mechanical, handfeel, fabric construction, and perceived tactile comfort data // *Text. Res. J.* 2013, 83. P. 34...43. – <https://doi.org/10.1177/0040517512438121>

5. *Frydrych I., Matusiak M.* Influence of structure and finishing of woven fabrics on their formability // *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* 2015, 27, 3. P. 447...459. <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2014-0085>

6. *Алеева С.В.* Влияние содержания лигнина и гемицеллюлоз на жесткость тканых полотен // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* 2013. № 5. С. 129...131.

7. *Солодушенкова Т.С., Корнилова Н.Л., Кокшаров С.А. и др.* Влияние полимерных компонентов льняного волокна на жесткость тканого полотна // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* 2022. № 4. С. 128...135. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2022\\_4\\_128](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_4_128)

8. *Dalbaşı E.S.N., Kayseri G.Ö.* A research on the comfort properties of linen fabrics subjected to various finishing treatments // *J. Nat. Fibers.* 2019, 18, 2. – <http://doi.org/10.1080/15440478.2019.1675210>

9. *Naujokaitė L., Strazdiene E.* The effect of finishing upon textile mechanical properties at low loading // *Materials Science (Medžiagotira).* 2007, 13, 3. P. 249...254.

10. *Novakovic M.S., Popović D., Mladenović N. et al.* Development of comfortable and eco-friendly cellulose based textiles with improved sustainability // *J. Clean. Prod.* 2020, 267, 2. 122154. – <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122154>

11. Патент RU 2372430C1. Ферментативный способ заключительной умягчающей отделки льняных тканей. МКИ D06M 16/00. Заявл. 19.05.2008. Оpubл. 10.11.2009, БИ № 31.

12. *Ленько К.А., Ясинская Н.Н., Скобова Н.В.* Инновационный подход к решению проблемы умягчения льняных материалов // *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы.* 2020. № 1. С. 324...328. – [http://doi.org/10.47367/2413-6514\\_2020\\_1\\_324](http://doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_324)

13. *Stănescu M.D.* Applications of enzymes in processing cellulosic textiles – A review of the latest developments // *Cellul. Chem. Technol.* 2023, 57, 1-2. P. 1...15. – <http://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2023.57.01>

14. *Guo Y., Sun Z., Guo X. et al.* Study on enzyme washing process of hemp organic cotton blended fabric // *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* 2019, 31. 58...64. – <https://doi.org/10.1108/IJCST-08-2017-0117>

15. *Marzoug I., Cheriaa R.* Effects optimization of bio-polishing industrial process parameters // *JTST.* 2023, 9, 1. P. 30...51. – <http://doi.org/10.4236/jtst.2023.91003>

16. *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, 92, 21–22. P. 4208...4229. – <http://dx.doi.org/10.1177/00405175221101018>

17. Патент CN 111074533A. D06M 11/155. Non-ironing processing method for flax ready-made clothes. Priority 18.10.2018. – <https://patents.google.com/patent/CN111074533A/en?q=CN+111074533A> (дата обращения 5.09.2023).

18. Патент CN 111074578A. D06M 15/17. Method for anti-wrinkle treatment of clothes by using glycerin rosin resin. Priority 18.10.2018. – <https://patents.google.com/patent/CN111074578A/en?q=CN+111074578A> (дата обращения 5.09.2023).

19. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А. и др.* Ферментативная умягчающая обработка льняных изделий: воздействие целлюлаз в структуре набухшего волокна // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.* 2022. № 5. С. 126...134. – [http://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2022\\_5\\_126](http://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126)

20. *Короткова О.Г., Семенова М.В., Рубцова Е.А. и др.* Сравнительный анализ рекомбинантной эндо-1,4-глюкоказы II и ее химерных форм с целлюлозо-связывающим модулем // *Вестник Московского университета. Сер. Химия.* 2019, 60, 5. С. 296...303. <https://doi.org/10.3103/S0027131419050067>

21. Патент RU 2343477C2. Способ определения формовочной способности текстильного материала. МКИ G01N 33/36. Заявл. 25.12.2006. Оpubл. 10.01.2009.

22. *Islam R., Mahmud S.F., Begum S.* Comparison of enzyme & bleach washed knitted denim (Z Twill) treated with different amount of softening & anti-creasing agent // *IJSAR.* 2020, 7, 9. 27...37. – <https://doi.org/10.4236/jtst.2020.63010>

## REFERENCES

1. *Guo M., Kuzmichev V.Ye.* Predicting the volume and comfortability characteristics in the systems “body-dress” for different types of materials// *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2014, 349, 1. P. 129...136.

2. *Ezazshahabi N., Mousazadegan F., Saharkhiz S. et al.* Determining formability function of worsted woven fabrics in terms of fabric direction // *J. Eng. Fibers Fabr.* 2015, 10, 2. P. 1...10. – <https://doi.org/10.1177/155892501501000201>

3. *Mozafary V., Payvandy P., Bidoki S.M. et al.* Predicting the influence of seam design on formability and strength of nonwoven structures using artificial neural network // *Fibers Polym.* 2013, 14, 9. P. 1535...1540. – <https://doi.org/10.1007/s12221-013-1535-z>

4. *Sztandera LM, Cardello AV, Winterhalter Cet al.* Identification of the most significant comfort factors for textiles from processing mechanical, handfeel, fabric construction, and perceived tactile comfort data // *Text. Res. J.* 2013, 83. P. 34...43. – <https://doi.org/10.1177/0040517512438121>

5. *Frydrych I., Matusiak M.* Influence of structure and finishing of woven fabrics on their formability // *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* 2015, 27, 3. P. 447...459. – <https://doi.org/10.1108/IJCST-07-2014-0085>

6. *Aleeva S.V.* Influence of lignin and hemicellulose content on stiffness of linen fabrics // *Izvestiya*



Vysshihkh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2013, 347, 5. P. 129...131.

7. *Solodushenkova T.S., Kornilova N.L., Koksharov S.A. et al.* Influence of linen fiber polymeric components on the rigidity of woven fabric // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 400, 4. P. 128...135. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2022\\_4\\_128](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_4_128)

8. *Dalbaşı E.S.N., Kayseri G.Ö.* A research on the comfort properties of linen fabrics subjected to various finishing treatments // *J. Nat. Fibers*. 2019, 18, 2. – <http://dx.doi.org/10.1080/15440478.2019.1675210>

9. *Naujokaitytė L., Strazdiene E.* The effect of finishing upon textile mechanical properties at low loading // *Materials Science (Medžiagotira)*. 2007, 13, 3. P. 249...254.

10. *Novakovic M.S., Popović D., Mladenović N. et al.* Development of comfortable and eco-friendly cellulose based textiles with improved sustainability // *J. Clean. Prod.* 2020, 267, 2. 122154. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122154>

11. Patent RU 2372430C1. D06M 16/00. Enzymatic method of final softening of linen dressing. Priority 19.05.2008. – <https://patents.google.com/patent/RU2372430C1/en?q=RU+2372430> (accessed 5.09.2023).

12. *Lenko K.A., Yasinskaya N.N., Skobova N.V.* Innovative approach to solving the problem of softening of linen materials // *Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX)*. 2020, 1. P. 324...328. – [http://dx.doi.org/10.47367/2413-6514\\_2020\\_1\\_324](http://dx.doi.org/10.47367/2413-6514_2020_1_324)

13. *Stănescu M.D.* Applications of enzymes in processing cellulosic textiles – A review of the latest developments // *Cellul. Chem. Technol.* 2023, 57, 1-2. P. 1...15. – <http://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2023.57.01>

14. *Guo Y., Sun Z., Guo X. et al.* Study on enzyme washing process of hemp organic cotton blended fabric // *Int. J. Cloth. Sci. Technol.* 2019, 31. 58...64. – <https://doi.org/10.1108/IJCS-08-2017-0117>

15. *Marzoug I., Cheriaa R.* Effects optimization of bio-polishing industrial process parameters // *JTST*. 2023, 9, 1. P. 30...51. – <http://doi.org/10.4236/jtst.2023.91003>

16. *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, 92, 21–22. P. 4208... 4229. – <http://dx.doi.org/10.1177/00405175221101018>

17. Patent CN 111074533A. D06M 11/155. Non-ironing processing method for flax ready-made clothes. Priority 18.10.2018. – <https://patents.google.com/patent/CN111074533A/en?q=CN+111074533A> (accessed 5.09.2023).

18. Patent CN 111074578A. D06M 15/17. Method for anti-wrinkle treatment of clothes by using glycerin rosin resin. Priority 18.10.2018. – <https://patents.google.com/patent/CN111074578A/en?q=CN+111074578A> (accessed 5.09.2023).

19. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A. et al.* Enzymative softening treatment of linen products: The impact of cellulases in the structure of a sweet fiber // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2022, 401, 5. P. 126...134. – [http://dx.doi.org/10.47367/0021-3497\\_2022\\_5\\_126](http://dx.doi.org/10.47367/0021-3497_2022_5_126)

20. *Korotkova O.G., Semenova M.V., Rubtsova E.A., et al.* Comparative analysis of the properties of recombinant endo-1,4-β-glucanase II and its chimeric form with a cellular binding module // *Moscow Univ. Chem. Bull.* 2019, 74, 5. P. 223...228. – <https://doi.org/10.3103/S0027131419050067>

21. Patent RU 2343477C2. G01N 33/36. Method for determining the molding ability of a textile material. Priority 25.12.2006. – <https://patents.google.com/patent/RU2343477C2/ru> (accessed 5.09.2023).

22. *Islam R., Mahmud S.F., Begum S.* Comparison of enzyme & bleach washed knitted denim (Z Twill) treated with different amount of softening & anti-creasing agent // *IJSAR*. 2020, 7, 9. 27...37. – <https://doi.org/10.4236/jtst.2020.63010>

Рекомендована НОЦ «Центр компетенций текстильной и легкой промышленности» ИВГПУ. Поступила 14.09.23.