

УДК 677.11/027.2

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_6\_119

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ОТВАРКИ НА ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ  
И ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЛЬНЯНОГО КОТОНИНА\***

**INFLUENCE OF BOILING CONDITIONS ON GEOMETRICAL  
AND STRENGTH PROPERTIES OF COTTONISED FLAX FIBER**

*Д.Л. ЛИСОВСКИЙ, Н.Н. ЯСИНСКАЯ*

*D.L. LISOUSKI, N.N. YASINSKAYA*

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: lisouskid@gmail.com; yasinskaynn@rambler.ru

*Котонизация льняного волокна является одним из способов повышения полноты использования льноволокнистого сырья в текстильном производстве, поскольку позволяет заменить хлопковое волокно на котонин при изготовлении пряжи. Традиционные методы подготовки льняного волокна не позволяют получить котонин для производства тонкой пряжи высокого качества. Объектом исследований являлся льняной котонин, полученный механическим способом на РУПТП «Оришанский льнокомбинат». В статье представлены результаты исследования влияния условий биохимической отварки с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя на геометрические и прочностные свойства льняного котонина. Для определения поперечного размера волокна (диаметра) использован метод оптической микроскопии. Продольные размеры (длину) волокна, количество коротких волокон и равномерность определяли с использованием устройств измерительной системы USTER LVI. Установлено, что предварительная ферментативная обработка пектиназами позволила получить волокно, по тонине и физико-механическим свойствам не уступающее волокну, подготовленному по традиционной технологии щелочной отварки. Обработка целлюлолитическими ферментами концентрации более 3 г/л существенно увеличила индекс коротких волокон и снизила прочность волокна. Установлено, что наибольший эффект по снижению верхней средней длины волокна до 36,95 мм, получению тонкого волокна со средним диаметром 24 мкм и сохранению его прочности достигается при использовании новых композиций белорусских био-препаратов, содержащих пектиназу и низкотемпературную целлюлазу. Данное технологическое решение позволит использовать такой котонин*

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований в рамках выполнения задания проекта № T22УЗБ-062.

для замены хлопка в большей доле при изготовлении смесовой пряжи высоких номеров.

*Cotonisation of flax fiber is one of the ways to increase the complete use of flax fiber raw materials in textile production, since it allows to replace cotton fiber with cottonised flax fiber in yarn manufacture. Traditional methods of flax fiber process have a number of disadvantages associated with the use of chemicals that adversely affect the environment, and with obtaining fiber that is insufficiently fine for the production of fine yarn. The object of research was cottonised flax fiber obtained mechanically at the RUPTP "Orsha Linen Mill". To determine the transverse size of the fiber (diameter), the method of optical microscopy was used.. The article presents the results of a study of the influence of biochemical decoction conditions using new enzyme preparations from a Belarusian manufacturer on the geometric and strength properties of cottonised flax fiber. The longitudinal dimensions (length) of the fiber, the number of short fibers and uniformity were determined using the devices of the measuring system USTER LVI. It was established that the preliminary enzymatic treatment of pectin-amide made it possible to obtain fiber whose fineness and physical and mechanical properties are not inferior to fiber prepared using traditional alkaline boiling technology.. Treatment with cellulolytic enzymes at concentrations greater than 3 g/l significantly increased the short fiber index and decreased fiber strength. It has been established that the greatest effect in reducing the upper average fiber length to 36.95 mm, obtaining thin fiber with an average diameter of 24 microns and maintaining its strength is achieved when using new compositions of Belarusian biological products containing pectinase and low-temperature cellulase. This technological solution will make it possible to use such cottonin to replace cotton in a larger proportion in the production of high-number blended yarn.*

**Ключевые слова:** котонизированное льняное волокно, биохимическая обработка, пектинолитические и целлюлолитические ферменты, длина волокна, диаметр волокна, индекс коротких волокон, разрывная нагрузка.

**Keywords:** cottonised flax fiber, biochemical treatment, pectinolytic and cellulolytic enzymes, fiber length, fiber diameter, short fiber index, breaking load.

### *Введение*

Льноводство, исторически сложившаяся отрасль сельского хозяйства в Республике Беларусь, имеет значительный потенциал для удовлетворения потребностей в текстильной промышленности [1]. Однако в последние годы посевные площади льна и объемы производства льноволокна сократились [2]. Следовательно, возникает реальная необходимость применения новых технологий глубокой переработки льна, рационального использования и создания полностью безотходного производства льноволокна. Известно, что в общей доле льняного волокна значительная часть приходится на короткое волокно, а также об-

разующиеся при переработке трепальные отходы.

Опыт зарубежных стран и анализ отечественных технических и технологических решений по рациональному использованию короткого льняного волокна позволяет считать наиболее перспективным направлением получение котонина для выработки смесовых пряж и других текстильных материалов, в том числе для армирования полимерных композитов [3...5].

В настоящее время на предприятии «Оршанский льнокомбинат» (Республика Беларусь) применяется химико-механическая технология котонизации льняно-

го волокна, включающая стадию механической обработки на линии производства котонина Temafa-Ritter (Германия-Швейцария), а также последующую химическую обработку полученного волокна щелочным раствором при высокой температуре и при необходимости его беление с использованием пероксида водорода в аппаратах «Эко блок X-1600» (Thies, Германия). Благодаря этому процессу получается котонин, который может быть переработан в пряжу с использованием пневмомеханического способа. При этом значение тонины получаемого котонина зачастую является недостаточным для получения пряжи высоких номеров.

В последние годы наиболее изучаемым направлением создания и усовершенствования технологий получения котонина является применение биохимических процессов [6...9]. Активно ведутся исследования по поиску оптимальных ферментов и их комбинаций, позволяющих максимально эффективно удалять нецеллюлозные примеси из льняного волокна и получать котонин с улучшенными характеристиками. Особое внимание уделяется использованию пектиназ для удаления пектиновых веществ, а также целлюлаз для расщепления целлюлозных микрофибрилл и повышения гибкости волокна. Ключевыми задачами являются подбор активности и состава ферментных композиций, оптимизация параметров процесса ферментативной обработки (температура, продолжительность, рН среды) для минимизации повреждения целлюлозной основы волокна и максимального сохранения его прочности.

Кроме того, использование ферментных технологий для обработки льняного волокна представляет собой перспективный подход, который не только позволяет

улучшить качество и экономическую эффективность производства, но и имеет положительное влияние на экологическую составляющую производства. В отличие от традиционных химических методов обработки ферментные процессы обеспечивают более мягкие условия и требуют меньшего количества энергии и водных ресурсов, снижая отрицательное воздействие на окружающую среду [10].

Цель данного исследования состояла в выявлении закономерностей изменения геометрических и прочностных свойств льняного котонина при его ферментативной обработке с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя, что позволило бы рекомендовать новые составы варочных композиций и совершенствовать технологию котонизации отечественного льноволокна.

#### *Материалы и методы*

Объектом исследования являлось льняное котонизированное волокно, полученное механическим способом на линии котонизации Temafa-Ritter на производственных мощностях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» (г. Орша, Республика Беларусь).

#### *Ферменты и методы определения активности*

Исследовали эффективность ферментных препаратов производства ООО «Фермент» (Республика Беларусь): пектиназы, целлюлаз: нейтральной целлюлазы NC720, кислой ЭНЗИТЕКС ЦКП и низкотемпературной, а также липазы Липрозим Стандарт и их комбинаций в процессе биообработки льняного котонизированного волокна. Характеристики препаратов, использованных в настоящем исследовании, приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Ферментный препарат	Ферментативная активность и ее численное значение	Оптимальный рН диапазон
Нейтральная целлюлаза NC720	Целлюлазная 1 460 ед/см <sup>3</sup>	5...7
ЭНЗИТЕКС ЦКП	Целлюлазная 653 ед/см <sup>3</sup>	5...5,5
Низкотемпературная целлюлаза	Целлюлазная 7248 ед/см <sup>3</sup>	5...7
Пектиназа	Пектатлиазная 324 ед/см <sup>3</sup>	7...9
	Пектинлиазная 49 ед/см <sup>3</sup>	
	Полигалактуронозная 360 ед/см <sup>3</sup>	
Липрозим Стандарт	Липазная 5 230 ед/см <sup>3</sup>	7...9

Пектинлиазную активность определяли по аналогии с методикой определения пектатлиазной активности, но в качестве субстрата использовали 0,4 % раствор яблочного пектина (Sigma 93854, степень метоксилирования 50-75 %) в 0,05 М глицин-NaOH буферном растворе с pH 9,0. За единицу пектинлиазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на яблочный пектин за одну минуту при температуре 45°C и pH 9,0 образуется 1 микромоль ненасыщенных олигосахаридных продуктов реакции.

Полигалактуроназную активность определяли титриметрическим методом. В качестве субстрата использовали 1 % водный раствор пектина из кожуры цитрусовых (Sigma P9135) в 0,1 М цитратном буфере. За единицу полигалактуроназной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на пектин образуется 1 мг галактуроновой кислоты за один час при температуре 50 °C и pH 3,5.

Целлюлазную активность определяли спектрофотометрическим методом с 3,5-динитросалициловой кислотой (ДНС реактивом), основанным на протоколе Миллера [12]. В качестве субстрата использовали 1 % раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Sigma 21902) в 0,1 М ацетатном буферном растворе с pH 5,0 либо в 0,1 М фосфатном буферном растворе с pH 6,0. За единицу целлюлазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы за одну минуту при температуре 40°C и pH 5,0 (6,0) образуется 1 микромоль восстанавливающих сахаров в пересчете на глюкозу.

Определение липазной активности проводили согласно [13] в модификации. В качестве субстрата использовали *n*-нитрофенилпальмитат (0,3 г/л) в 0,05 М трис-солянокислом буферном растворе с pH 8,0 с добавлением гуммарабика (0,1 г/л), дезоксихолата натрия (0,2 г/л) и изопропанола (100 г/л). Метод основан на фотометрическом определении *n*-нитрофенола, образующегося в результате дей-

ствия липазы на субстрат *n*-нитрофенилпальмитат. За единицу липазной активности принято такое количество фермента, при действии которого на субстрат образуется 1 мкмоль *n*-нитрофенола за одну минуту при температуре 40°C и pH 8,0.

*Методика ферментативной обработки волокна*

Обработку волокна осуществляли в растворе ферментного препарата с заданным уровнем pH при температуре 50 °C в течение 120 минут. При обработке волокна пектиназой и ферментными композициями значение pH варочного раствора составляло 8,1, нейтральной целлюлазой NC720 – 6,0. Концентрация ферментного препарата пектиназы в растворе варьировалась в диапазоне от 0 до 10 г/л, целлюлазы – от 0 до 5 г/л. Концентрация двухкомпонентных ферментных композиций составляла 3,0 г/л. В составе варочного раствора содержится смачиватель NR520 на основе фосфорных эфиров этоксилированных спиртов (поставщик ООО «Фермент», Республика Беларусь) в концентрации 1 г/л. Модуль ванны составлял 1:15. После обработки волокно последовательно промывали горячей и холодной водой, отжимали и сушили при температуре 60 °C в сушильном шкафу.

*Методика традиционной щелочной отварки волокна*

Механически котонизированное волокно подвергали обработке в течение 120 минут при температуре  $98 \pm 2$  °C в растворе, который содержал 7 г/л гидроксида натрия и 1 г/л смачивателя. Модуль ванны составлял 1:15. Затем волокно промывали горячей и холодной водой, отжимали и сушили при температуре 60 °C в сушильном шкафу.

*Методики оценки физико-механических свойств котонизированного льняного волокна*

Физико-механические характеристики исходного и обработанного льняного волокна определяли с использованием устройств измерительной системы USTER LVI, установленной в лаборатории кафедры технологии текстильных материалов

Витебского государственного технологического университета.

При помощи прибора Fibrograph 730 определяли характеристики длины волокна: среднюю длину ML (Mean Length), верхнюю среднюю длину UHML (Upper Half Mean Length), индекс равномерности UI (Uniformity Index), индекс коротких волокон SFI (Short Fibers Index), предварительно формируя штапель волокон с использованием устройства USTER LVI Fibrosampler 192.

Потерю массы ( $\Delta m$ , %) определяли как соотношение разницы массы волокна до и после обработки к массе волокна до обработки с учетом влажности образца.

Для определения диаметра волокна сначала подготавливали штапель путем расчесывания пучка волокон, затем, используя микроскоп Альтами MET 5T, получали изображение волокон с помощью камеры микроскопа и обрабатывали его программным обеспечением Altami Studio 4.0 RC. Для каждого образца проводили 210 измерений. Статистическую обработку полученных данных, а также расчет значений максимального ( $d_{\text{макс}}$ ), среднего ( $d_{\text{ср}}$ ), медианного ( $d_{\text{мед}}$ ) диаметра и перцентиля D95 осуществляли с использованием программного обеспечения TIBCO Statistica 13.5.017.

Разрывную нагрузку котонина определяли на разрывной машине WDW-20E, для чего готовили штапель волокна, закрепляли между зажимами на расстоянии 3 мм и подвергали деформированию со скоростью 10 мм/с. Рассчитывали удельную разрывную нагрузку волокна как соотношение разрывной нагрузки волокна к линейной плотности, которую в свою очередь вычисляли по формуле [14]:

$$T_B = \frac{d_{\text{ср}}^2 \gamma}{35,7^2}. \quad (1)$$

Содержание пектиновых веществ определяли путем их экстракции раствором лимоннокислого аммония из волокна с последующим спектрофотометрическим анализом экстракта по окрашенному комплек-

су полимеров с *o*-толуидиновым реагентом при длинах волн 365, 385 и 630 нм [15].

#### Результаты и обсуждение

Авторами работ [16, 17] установлено, что существует тесная взаимосвязь между химическим составом льняного волокна и его физико-механическими свойствами. Важное значение имеет удаление полимерных примесей, включая лигнин, гемицеллюлозу и пектиновые вещества. Эти компоненты оказывают значительное влияние на качество волокна, определяя его прочность, гибкость и другие характеристики. Одни из важнейших примесных полимеров, пектины присутствуют в срединных пластинках и инкрустах, которые образуют поверхностные отложения на волокне, состоящие из остатков камбия и паренхимных тканей. В связи с этим одной из задач исследования стала оценка толщины обработанного волокна в зависимости от концентрации пектинолитического фермента в варочном растворе. Показано (рис. 1 – зависимость диаметра волокна от концентрации пектиназы), что с увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе диаметр волокна снижается. Уменьшение величины диаметра указывает на снижение в образце количества склеенных волокон большой толщины, а соответственно на увеличение расщепленности льняного волокна при его обработке раствором пектиназы.

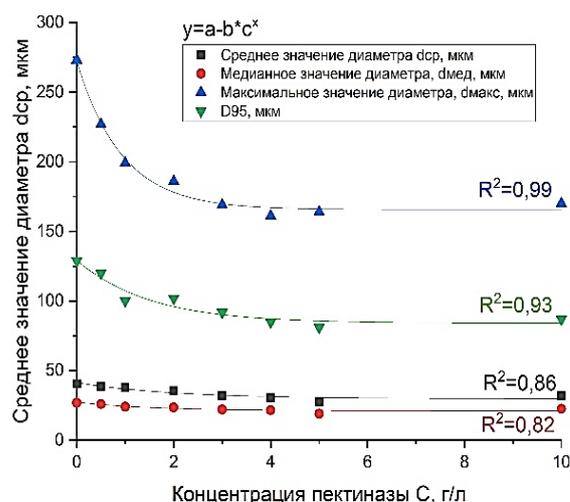


Рис. 1

При концентрации пектинолитического фермента в варочном растворе 3...4 г/л (табл. 2 – показатели диаметра сурового и традиционно подготовленного котонина) показатели поперечных размеров биообработанного льняного волокна сопоставимы с показателями диаметра волокна, подго-

товленного по традиционной схеме в процессе щелочной отварки, а при концентрации фермента 5 г/л среднее и медианное значения диаметра биообработанного волокна на 8,3 и 9,5 % меньше, чем у традиционно подготовленного волокна, соответственно.

Т а б л и ц а 2

Образец/обработка	Среднее значение диаметра $d_{\text{ср}}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{\text{мед}}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{\text{макс}}$ , мкм	D95, мкм
Суровый котонин	40,3	26,0	251	112
Традиционная щелочная отварка	30,3	21,0	176	81

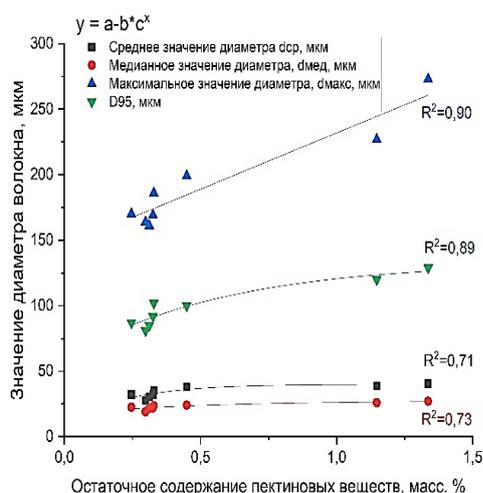


Рис. 2

Ранее было показано, что эффективная деструкция основной массы пектиновых примесей в межволоконных связующих образованиях обеспечивается при воздействии растворов с концентрацией пектиназы 2...3 г/л. При повышении концентрации добиться существенного снижения содержания остаточного пектина уже не представлялось возможным [18]. В то же время, изучая зависимость значений диаметра от остаточного содержания пектиновых веществ в волокне, представленную на рис. 2, можно заметить, что в случае максимального значения диаметра и процента D95 коэффициенты детерминации составляют 0,89 и 0,90, что позволяет признать предложенную модель хорошей. При этом коэффициенты детерминации моделей, описывающих зависимость среднего и

медианного значений диаметра от остаточного содержания пектиновых веществ, существенно меньше.

Можно предположить, что хорошая корреляция значений остаточного содержания пектиновых веществ со значениями  $d_{\text{макс}}$  и D95 объясняется удалением пектина не только из инкрустов и межклетных образований, но также из срединных пластинок, что позволяет повысить расщепленность волокна, то есть увеличить количество элементарных волокон. В то же время толщина элементарного волокна не может зависеть только от содержания пектиновых веществ, поэтому высокой корреляции  $d_{\text{ср}}$  и  $d_{\text{мед}}$  от содержания остаточного пектина ожидаемо не наблюдается.

Ферментативная отварка пектиназой приводит к значительно меньшей потере массы волокна, более чем в два раза, по сравнению с традиционной щелочной обработкой при высокой температуре (табл. 3 – физико-механические показатели котонина сурового, отваренного в щелочном растворе и растворе пектиназы). В контрольном опыте с нулевой концентрацией фермента потеря массы волокна существенно ниже, чем в опытах в присутствии фермента, что, несомненно, указывает на извлечение полимерных примесей из волокна под действием фермента. Вероятно, потеря массы в 6,6 % в нулевом опыте обусловлена удалением из волокна как водорастворимых веществ, так и веществ, растворимых в слабощелочных растворах, – белков, части пектиновых веществ и ге-

мицеллюлозы. В то же время зависимость потери массы волокна от концентрации пектолитического фермента не выявлена, что свидетельствует о его низкой деструктивной способности.

Длина волокна описывается двумя показателями – средней длиной (ML) и верх-

ней средней длиной (UHML). Значение верхней средней длины равно средней массодлине наиболее длинных волокон образца, составляющих 50 % его массы.

Таблица 3

Образец/обработка	Концентрация фермента С, г/л	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы Δm, %	Удельная разрывная нагрузка, Р <sub>уд.</sub> , сН/текс
Суровый (необработанный) котонин	-	36,04	43,66	82,5	5,2	-	27,33
Традиционная щелочная отварка	-	30,72	40,11	76,6	6,7	23,23	19,43
Отварка пектиназой	0,0	34,36	43,35	79,3	5,9	6,60	25,10
	0,5	34,12	43,05	79,3	5,9	10,26	22,01
	1,0	34,07	43,33	78,6	5,6	10,44	21,54
	2,0	33,60	42,97	78,2	5,7	10,17	22,35
	3,0	32,70	42,33	77,3	6,5	10,45	22,11
	4,0	30,20	39,27	76,9	6,8	10,60	22,17
	5,0	29,88	40,12	74,5	7,7	10,48	22,43
	10,0	29,18	38,72	75,3	7,1	10,52	22,05

При обработке льняного котонина как традиционным, так и ферментативным способом показатели длины ML и UHML ожидаемо снизились. Наблюдалась тенденция к уменьшению показателей длины с увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе с одновременным снижением индекса равномерности образца. Показатели длины волокна, полученного традиционным способом, были сопоставимы со значениями для ферментативно обработанного волокна в растворе с концентрацией фермента 4 г/л и выше и составили не более 30,20 мм для ML и не более 40,12 мм для UHML.

Удельная разрывная нагрузка котонизированного льняного волокна, подготовленного по традиционной технологии, в среднем была на 13,7% меньше, чем после ферментативной обработки. Установлено, что концентрация фермента в варочном растворе не оказывает влияния на прочностные характеристики волокна, незначительные различия показателя от образца к образцу, вероятно, обусловлены неравномерностью льняного волокна в целом.

Обработка волокна нейтральной целлюлазой NC720 не привела к получению более тонкого волокна по сравнению с традиционной технологией или ферментативной отваркой пектиназой, при этом существенно снизились прочностные характеристики волокна – разрывная нагрузка оказалась ниже в 5,5...8,8 раза для волокна, прошедшего отварку целлюлазой. Кроме того, наблюдалось существенное снижение длины волокна и увеличение индекса коротких волокон, а значения обоих показателей закономерно изменялись с увеличением концентрации целлюлазы в варочном растворе (табл. 4 – диаметр и физико-механические свойства волокна, обработанного нейтральной целлюлазой NC720). Различия в потере массы волокна в контрольном опыте с пектиназой и целлюлазой, вероятно, обусловлены использованием растворов с различным значением pH – слабощелочного в первом случае и слабокислого во втором, что привело к избирательному извлечению различных примесей.

Таблица 4

№№ п/п	Концентрация фермента С, г/л	Среднее значение диаметра $d_{cp}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{мед}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{макс}$ , мкм	D95, мкм	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы $\Delta m$ , %	Удельная разрывная нагрузка $R_{уд}$ , сН/текс
1	0,0	40,4	28,0	280	134	34,45	40,20	77,1	6,8	7,32	23,35
2	1,0	38,4	24,0	193	119	24,88	35,58	69,9	12,6	10,63	4,59
3	3,0	31,5	25,0	173	82	21,50	30,22	71,7	29,4	10,98	4,41
4	5,0	33,3	21,0	132	84	19,79	27,97	70,8	38,7	11,77	2,49

С целью преодоления высокого деструктурирующего действия целлюлазы на льняное волокно и изучения ее комплексного действия совместно с другими ферментами с учетом описанных выше опытов были изготовлены двухкомпонентные ферментные композиции оптимизированного состава на основе пектиназы, различных типов целлюлаз и липазы.

Оценивая результаты эксперимента (табл. 5 – диаметр и физико-механические свойства волокна, обработанного двухкомпонентными ферментными композициями), можно заметить, что оптимизированный ферментный состав позволил избежать критического снижения прочностных характеристик обработанного волокна и получить значения индекса коротких волокон в пределах нормы.

Таблица 5

Состав/ферментативная активность, ед/мл	Среднее значение диаметра $d_{cp}$ , мкм	Медианное значение диаметра $d_{мед}$ , мкм	Максимальное значение диаметра $d_{макс}$ , мкм	D95, мкм	Средняя длина волокна ML, мм	Верхняя средняя длина волокна UHML, мм	Индекс равномерности UI, %	Индекс коротких волокон SFI, мм	Потеря массы $\Delta m$ , %	Удельная разрывная нагрузка $R_{уд}$ , сН/текс
Отварка пектиназа/низкотемпературная целлюлаза пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....98	22,0	19,0	101	49	26,50	36,95	72,0	9,4	10,24	22,20
Отварка пектиназа/Липрозим Стандарт пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 липаза.....3660	32,6	23,4	147	88	31,90	41,35	76,7	7,1	10,57	23,81
Отварка пектиназа/ЭНЗИТЕКС ЦКП пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....42	27,0	21,0	151	76	29,70	39,27	75,8	7,5	13,70	22,36
Отварка пектиназа/нейтральная целлюлаза пектатлиаза.....270 пектинлиаза.....41 полигалактуроназа...300 целлюлаза .....480	24,0	20,0	105	57	27,40	36,45	75,3	8,5	10,95	19,42

Важно отметить, что значения средней длины и верхней средней длины образцов волокна ниже, чем в экспериментах с пектиназой, что позволяет получать волокна, по длине приближенные к хлопковому волокну в большей степени [19]. Наилучший результат показала смесь низкотемпературной целлюлазы и пектиназы – хорошая то-нина полученного волокна и минимальное значение средней длины волокна, равное 26,50 мм, в совокупности с сохранением прочностных свойств на необходимом уровне. В то же время индекс равномерности распределения волокна по длине меньше, а индекс коротких волокон больше, чем в случае других двухкомпонентных композиций. Несмотря на это полученные мажорные характеристики волокна – средний диаметр и длина – позволяют рекомендовать данную композицию к использованию.

## ВЫВОДЫ

Установлены закономерности изменения геометрических и прочностных свойств льняного котонина при его биообработке индивидуальными ферментными препаратами, а также их композициями.

Показано, что обработка пектиназой в концентрации 4...5 г/л приводит к получению волокна, сопоставимого по толщине с волокном после традиционной щелочной отварки. Использование индивидуально целлюлаз приводит к значительному снижению прочностных характеристик льняного волокна. Применение двухкомпонентных ферментных композиций на основе пектиназы и целлюлазы позволяет сохранить разрывную нагрузку волокна на уровне нормированных значений.

Установлено, что наибольший эффект по снижению верхней средней длины волокна до 36,95 мм, получению тонкого волокна со средним диаметром 22 мкм и сохранению его прочности достигается при использовании композиции, содержащей пектиназу и низкотемпературную целлюлазу. Обработка предложенным ферментным составом позволяет получить котонизированное льняное волокно с улучшен-

ными основными характеристиками в сравнении с традиционной щелочной отваркой.

Результаты исследования могут найти применение при совершенствовании технологии производства котонизированного льняного волокна с использованием перспективного ассортимента ферментных препаратов белорусского производителя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунюв В.А., Алексеенко А.С., Цайц М.В. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. №2. С. 267...271.
2. Статистический ежегодник 2022 Национального статистического комитета Республики Беларусь. – <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiibet4h4icu0kdluroipo8.pdf/> (Дата обращения: 25.06.2023).
3. Cierpucha W., Kozłowski R., Mańkowski J., Waśko J., Mańkowski T. Applicability of Flax and Hemp as Raw Materials for Production of Cotton-like Fibres and Blended Yarns in Poland // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004. №47. P. 13...18.
4. Пащин Е.Л. Направление использования льна взамен хлопка // *Аграрный вестник Нечерноземья*. 2021. №2. С. 24...30. – [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2021\\_02\\_24](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_02_24).
5. Калинин Е.Н., Ершов С.В., Кокиаров С.А., Лепилова О.В. Биомодификация льноволокнистого наполнителя для пропитки жидким связующим // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2023. № 2. С. 165...175. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2023\\_2\\_165](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_2_165).
6. Antonov V., Marek J., Bjelkova M., Smirows P., Fischer H. Easily available enzymes as natural retting agents // *Biotechnol. J.* 2007. Vol. 2. №3. P. 34...346.
7. Карев А.С., Чешкова А.В., Белякова Т.Н., Захарова И.М., Воронин А.М. Влияние влажности короткого льняного волокна на процесс ферментно-механической котонизации // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2010. № 7. С. 34...37.
8. Топорищева Н.А., Мухина Е.Н., Чешкова А.В. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашенных котонинсодержащих тканей // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2020. № 5. С. 62...68.
9. Чешкова А.В., Логинова В.А., Захарова И.М., Фролова Т.С. Перспективы маломодульных ферментативных экотехнологий котонизации // *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. 2019. Т. 46. №4. С. 20...26.
10. Kozłowski R., Czaplicki Z., Zareba S., Mańkowski J. OE Cotton Yarns with a High Content of Enzyme-Modified Flax Fibers // *Journal of Natural Fibers*. 2012. Vol.9. №3. P.137...149. – <https://doi.org/10.1080/15444078.2011.630224>.

11. Zheng X., Zhang Y., Liu X., Li C., Lin Y., Liang S. High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From *Bacillus* sp. RN1 in *Pichia pastoris* With Potential in Ramie Degumming // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. №8. article 850. – <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00850>

12. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // *Analytical Chemistry*. 1959. Vol. 31. №3. P. 426...428. – <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

13. Lewis D.R., Liu D.J. Direct Measurement of Lipase3Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay // *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*. 2012. Vol. 1. №3. – <https://doi.org/10.4172/2167-065x.1000103>.

14. Малюшевская А.П., Краснянская О.Н., Сарибеков Г.С., Тиманов В.Н., Малюшевский П.П. Исследование прядильной способности льноволокна, котонизированного электрическими разрядами // *Электронная обработка материалов*. 2004. № 3. С. 37...40.

15. Усов А.И., Яроцкий С.В. Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи ортолуидинового реагента // *Известия АН СССР. Серия химическая*. 1974. № 4. С. 877...880.

16. Кокиаров С.А., Алеева С.В., Скобелева О.А., Кудряшов А.Ю. Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца «Зарянка» и «Могилевский-2» // *Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология*. 2011. Т. 54. №6. С. 93...96.

17. Алеева С.В. Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.19.02 / Алеева Светлана Викторовна. Иваново, 2014. 389 с.

18. Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н. Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2022. №2. С. 94...103. – <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-94-103>.

19. Назарова А.Б., Акперов З.И., Мамедова Р.Б., Гусейнова Л.А., Абдулалиева Г.С., Мамедова З.Б. Изучение разнообразия генофонда хлопчатника (*Gossypium L.*) по хозяйственным и качественным признакам волокна // *Успехи современного естествознания*. 2019. № 11. С. 15...19.

## REFERENCES

1. Sharshunov V.A., Alekseenko A.S., Tsaitz M.V. State of the flax industry of the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency // *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2019. №2. P. 267...271.

2. Statistical Yearbook 2022 of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. – <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2of56kwxniibet4h4icu0kdlituroipo8.pdf/> (Date of circulation: 25.06.2023).

3. Cierpucha W., Kozłowski R., Mańkowski J., Waśko J., Mańkowski T. Applicability of Flax and Hemp as Raw Materials for Production of Cotton-like Fibres and Blended Yarns in Poland // *Fibres & Textiles in Eastern Europe*. 2004. №47. P. 13...18.

4. Pashin E.L. Direction of flax utilization instead of cotton // *Agrarny Vestnik Nechernozemye*. 2021. №2. P. 24...30. – [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2021\\_02\\_24](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_02_24).

5. Kalinin E.N., Ershov S.V., Koksharov S.A., Lepilova O.V. Biomodification of flax-fiber filler for impregnation with liquid binder // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2023. № 2. С. 165...175. – [https://doi.org/10.47367/0021-3497\\_2023\\_2\\_165](https://doi.org/10.47367/0021-3497_2023_2_165).

6. Antonov V., Marek J., Bjelkova M., Smirous P., Fischer H. Easily available enzymes as natural retting agents // *Biotechnol. J*. 2007. Vol. 2. №3. P. 34...346.

7. Karev A.S., Cheshkova A.V., Belyakova T.N., Za-Kharova I.M., Voronin A.M. Influence of moisture content of short flax fiber on the process of enzyme-mechanical cottonization // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2010. № 7. P. 34...37.

8. Toporishcheva N.A., Mukhina E.N., Cheshkova A.V. Improvement of biochemical technologies of pre-treatment for obtaining of impotanted of colored flex-containing cloth // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2020. № 5. P. 62...68.

9. Cheshkova A.V., Loginova V.A., Zakharova I.M., Frolova T.S. Prospects of small-module enzymatic ecotechnologies of cottonization // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2019. Vol. 46. №4. P. 20...26.

10. Kozłowski R., Czaplicki Z., Zareba S., Mańkowski J. OE Cotton Yarns with a High Content of Enzyme-Modified Flax Fibers // *Journal of Natural Fibers*. 2012. Vol. 9. №3. P. 137...149. – <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.630224>.

11. Zheng X., Zhang Y., Liu X., Li C., Lin Y., Liang S. High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From *Bacillus* sp. RN1 in *Pichia pastoris* With Potential in Ramie Degumming // *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2020. №8. article 850. – <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00850>

12. Miller G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // *Analytical Chemistry*. 1959. Vol.31. №3. P. 426...428. – <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.

13. Lewis D.R., Liu D.J. Direct Measurement of Lipase3Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay // *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*. 2012. Vol. 1. №3. – <https://doi.org/10.4172/2167-065x.1000103>.

14. Malyshevskaya A.P., Krasnyanskaya O.N., Saribekov G.S., Timanov V.N., Malyshevskiy P.P. Investigation of spinning ability of flax-fiber cottonized by

electric discharges // Electronic processing of materials. 2004. № 3. P. 37...40.

15. *Usov A.I., Yarotsky S.V.* Separate determination of hexoses and pentoses using o-toluidine reagent // *Izvestiya AN USSR. Chemical Series.* 1974. № 4. P. 877...880.

16. *Koksharov S.A., Aleeva S.V., Skobeleva O.A., Kudryashov A.Yu.* Polymer composition of flax fiber trepa-fiber of selection varieties of long-staple flax "Zaryanka" and "Mogilevsky-2" // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya.* 2011. T. 54. №6. P. 93...96.

17. *Aleyeva S.V.* Methodological bases of co-development of the processes of biochemical modification of flax textile materials: dis....doctor of tech-

nical sciences: 05.19.02 / *Aleyeva Svetlana Viktorovna.* Ivanovo, 2014. 389 p.

18. *Lisovsky D.L., Yasinskaya N.N.* Effect of enzyme treatment on the properties of flax cottonin // *Bulletin of Vitebsk State Technological University.* 2022. №2. P. 94...103.

19. *Nazarova A.B., Akperov Z.I., Mamedova R.B., Huseynova L.A., Abdulaliev G.S., Mamedova Z.B.* Study of the diversity of the gene pool of cotton (*Gossypium L.*) on the economic and qualitative traits of fiber // *Uspekhi sovremennogo estesvoznaniya.* 2019. № 11. P. 15...19.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий Витебского государственного технологического университета. Поступила 06.07.23.

---