

Разработка рационального состава полиферментной композиции в технологии биоотварки хлопчатобумажных тканей

К. А. Ленко, Н. Н. Ясинская,
Н. В. Скобова

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь

Аннотация. В последние десятилетия активизировались исследования в направлении биохимических способов подготовки текстильных материалов из целлюлозных волокон. Особую практическую значимость с точки зрения экологичности и сохранения целлюлозы имеют ферменты, проявляющие активность при низких температурах и в нейтральных средах. Так, авторами проводились исследования по биоотварке хлопчатобумажных тканей полиферментными композициями, состоящими из белорусских (ООО «Фермент») препаратов целлюлолитического и пектолитического действия, в ходе которых наблюдались недопустимые потери прочности материалов после обработки.

Цель работы – провести рационализацию состава полиферментной композиции в технологии биоотварки хлопчатобумажных тканей белорусскими ферментными препаратами фирмы ООО «Фермент».

Проведена биоотварка предварительно расшлихтованной хлопчатобумажной ткани полотняного переплетения. Эксперимент проводился по матрице Кано с двумя повторностями серии опытов. В качестве входных факторов выбраны концентрации ферментных препаратов, обладающие целлюлазной и пектиназной активностью. В качестве выходных параметров выбраны капиллярность, гигроскопичность и разрывная нагрузка ткани. В результате обработки экспериментальных данных получены теоретико-экспериментальные зависимости гигиенических и физико-механических свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции. По полученным моделям построены графические образы зависимости свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции. Установлено, что на все свойства в большей степени оказывает влияние концентрация препарата, обладающего целлюлолитической активностью.

Исходя из анализа графиков зависимости гигиенических и физико-механических свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от состава полиферментной композиции определены рациональные концентрации ферментных препаратов белорусского производства: Энзитекс ЦКО – 2,5–3 г/л, Энзитекс Био-К – 2,5–3 г/л.

Ключевые слова: фермент, подготовка ткани к крашению, целлюлаза, пектиназа, капиллярность, гигроскопичность, разрывная нагрузка.

Информация о статье: поступила 29 мая 2024 года.

Development of a rational composition of a polyenzyme composition in the technology of bioscouring of cotton fabrics

Ksenia A. Lenko, Natallia N. Yasinskaya,
Natallia V. Skobova

Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus

Abstract. In recent decades, research into biochemical methods of preparation of textile materials from cellulose fibers has intensified. Of particular practical importance in terms of environmental friendliness and cellulose preservation are enzymes active at low temperatures and in neutral media. Thus, the authors conducted research on bioscouring of cotton fabrics with polyenzyme compositions consisting of Belarusian preparations (Ferment LLC) of cellulolytic and pectolytic action, during which unacceptable losses of material strength after treatment were observed.

The purpose of the work is to rationalize the composition of a multi-enzyme composition in the technology of bioscouring of cotton fabrics using Belarusian enzyme preparations from Ferment LLC.

Bioscouring of previously deslimed plain-weave cotton fabric was carried out. The experiment was carried out using the Kano matrix with two repetitions of a series of experiments. The concentrations of enzyme preparations with cellulase and pectinase activity were selected as input factors. Capillarity, hygroscopicity and tissue tensile strength were selected as output parameters. As a result of processing experimental data, theoretical and experimental dependencies of the hygienic and physical-mechanical properties of cotton fabrics after bioscouring on the qualitative and quantitative composition of the multienzyme composition were obtained. Based on the obtained models, graphic images of the dependence of the properties of cotton fabrics after bioscouring on the qualitative and quantitative composition of the multienzyme composition were constructed. It has been established that all properties are largely influenced by the concentration of the drug with cellulolytic activity.

Based on the analysis of graphs of the dependence of the hygienic and physical-mechanical properties of cotton fabrics after bio-boiling on the composition of the multienzyme composition, rational concentrations of enzyme preparations produced in Belarus were determined: Enzitetx CAO – 2.5–3 g/l, Enzitetx Bio-A – 2.5–3 g/l.

Keywords: enzyme, fabric preparation for dyeing, cellulase, pectinase, capillarity, hygroscopicity, breaking load.

Article info: received May 29, 2024.

Введение

Подготовка текстильных материалов из природных целлюлозных волокон включает комплекс операций, часть из которых носят характер чисто механического или физического воздействия на материал. К физико-химическим и химическим операциям отделочного производства относятся расшлихтовка, отварка, белевание, мерсеризация [Кулигин и Евдокимова, 2012].

Известно, что удаление крахмальной шлихты с поверхности и из межволоконных пространств нитей повышают гидрофильные свойства ткани лишь на $\frac{1}{3}$ от требуемого уровня капиллярности [Алеева, 2014]. Для достижения требуемой смачиваемости и гидрофильности ткани необходимо проведение операции отварки. Процесс отварки хлопчатобумажных тканей способствует удалению природных примесей целлюлозы (воск, пектин, азотистые, зольные вещества и т. д.) и механических примесей, нанесенных в процессах прядения и ткачества (замасливатели, антистатик, шлихта и т. д.). Удаление примесей в свою очередь способствует приданию равномерной, высокой смачиваемости и сорбции [Барышева, 2006].

Ухудшение экологической обстановки заставляет задуматься об огромном количестве токсичных веществ, применяемых в отделочном производстве текстильных материалов [Рахматуллина и Панкова, 2022]. На сегодняшний день современные методы получения отваренных хлопчатобумажных тканей основаны на применении экологически небезопасных химических реагентов (щелочи, кислоты, ПАВы), многозатратны и энергоёмки [Ясинская и др., 2021]. Также известно, что

при щелочной отварке наряду с процессом облагораживания происходит деструкция целлюлозы по глюкозидным связям, ведущая к деполимеризации цепных молекул в более короткие фрагменты [Калдыбаев и др., 2020].

Биоотварка с применением ферментов, обеспечивающего селективное воздействие на гетерополимерную волокнистую систему, может стать альтернативной подготовкой для устранения изъянов щелочного процесса целлюлозных материалов [Барышева, 2006; Топорищева и др., 2022]. Выбор фермента для обработки текстильного материала определяется набором химических реакций, которые должны быть ускорены [Переволоцкая и др., 2002]. Известно, что наилучшее качество подготовки целлюлозных текстильных материалов может быть получено в ходе биообработки препаратами, являющимися полиферментными. При этом главной отличительной особенностью этих препаратов является целлюлазная активность [Барышева, 2006]. Ферментативные технологии, заменяющие щелочную отварку в процессах подготовки хлопчатобумажных тканей, основаны на обработке полиферментными композициями также содержащими пектиназы.

Несмотря на большой спрос на биотехнологии в текстильной промышленности, значительное количество исследований в этой области, существенного прогресса в промышленном использовании ферментных препаратов и их композиций на стадии отделки целлюлозосодержащих текстильных материалов не наблюдается. Внедрение биотехнологий в текстильное производство сдерживается вследствие необходимости сохранения

высокой культуры производства, отсутствия теоретически обоснованного выбора биопрепаратов для процессов облагораживания текстильных материалов с учетом их избирательного действия на примеси различной природы.

В настоящее время в Республике Беларусь множество импортной продукции попали под санкции, что затронуло и товары текстильной химии. Кроме того, закупка дорогостоящих текстильно-вспомогательных веществ из-за рубежа предполагает увеличение производственных затрат в разы. Таким образом, для того чтобы сдерживать рост себестоимости готовой отечественной продукции, актуальным является вопрос импортозамещения текстильной химии.

Ведущим белорусским производителем высокоэффективных ферментных препаратов является компания ООО «Фермент». Компания специализируется на выпуске ферментных препаратов для животноводства, кожевенной и меховой промышленности, пищевой промышленности, целлюлозно-бумажной промышленности. В связи с остро стоящей проблемой импортозамещения, сравнительно недавно ООО «Фермент» начало специализироваться на выпуске ферментов данного назначения. С учетом вышесказанного, актуальным является оценка возможности использования ферментных пре-

паратов данного производителя в процессах заключительной отделки текстильных материалов.

Так, авторами проводились исследования по биоотварке хлопчатобумажных тканей полиферментными композициями белорусского производства, состоящими из препаратов целлюлолитического и пектолитического действия, в ходе которых наблюдались недопустимые потери прочности материалов после обработки (Ленько и Ясинская, 2022; Котко и др., 2020). Учитывая данное явление, дальнейшая работа направлена на выбор рациональной концентрации целлюлолитических и пектолитических ферментных препаратов, которые в большей степени влияют на структуру целлюлозного волокна.

Объект и методы исследования

Проведена биоотварка предварительно расшлихтованной хлопчатобумажной ткани полотняного переплетения арт. 854 (ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение») по схеме, представленной на рисунке 1. Эксперимент проводился по матрице Кано с двумя повторностями серии опытов. Для определения количества опытов проводили пробную серию дублирующих опытов, производили статистическую обработку результатов эксперимента и определяли минимально необходимое количество повторов (Бойко и Кудеников, 2016). В качестве входных факторов

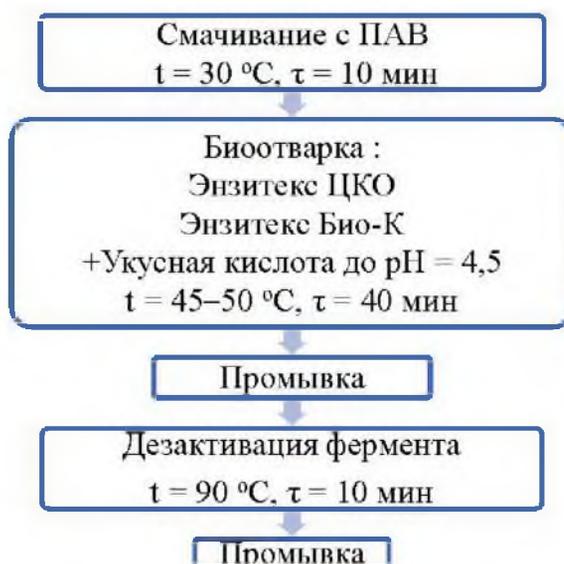


Рисунок 1 – Схема проведения биоотварки

Figure 1 – Schematic of the bioscouring

выбраны концентрации ферментных препаратов производства ООО «Фермент», обладающие целлюлазной и пектиназной активностью – Энзитекс ЦКО и Энзитекс Био-К соответственно.

Энзитекс ЦКО – кислая целлюлаза активностью 10000 ед/г (оптимальные условия действия: pH от 4,5 до 5,5, рабочая температура 40–60 °С). Энзитекс Био-К – кислая пектиназа активностью 6500 ед/г (оптимальные условия действия: pH от 3,0 до 4,5, рабочая температура 40–60 °С).

В качестве выходных параметров выбраны капиллярность, гигроскопичность и разрывная нагрузка ткани. Капиллярность и гигроскопичность ткани исследовали в соответствии с ГОСТ 3816–81 «Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств» (с Изменениями N 1-4). Разрывную нагрузку ткани исследовали на разрывной машине РМ 3 согласно ГОСТ 6611.2–73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве».

Интервалы и уровни варьирования входных факторов представлены в таблице 1.

В результате обработки экспериментальных данных в программе Statistica for Windows получены теоретико-экспериментальные зависимости гигиенических и физико-механических свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции. Значимость коэффициентов регрессии полученных моделей оценивали по p-level уровню, который должен принимать значения $p \leq 0,05$. Только в этом случае коэффициент считается значимым. Достоверность моделей подтверждается высоким значением коэффициента детерминации.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Модель зависимости гигроскопичности от концентрации целлюлолитического и пектолитического фер-

ментных препаратов ($R^2 = 0,99215$):

$$G = 16,13 + 3,4 \cdot X_1 - 2,53 \cdot X_1^2. \quad (1)$$

Модель зависимости капиллярности от концентрации целлюлолитического и пектолитического ферментных препаратов ($R^2 = 0,94187$):

$$K = 166,32 + 18,67 \cdot X_1 + 8,56 \cdot X_2. \quad (2)$$

Модель зависимости разрывной нагрузки от концентрации целлюлолитического и пектолитического ферментных препаратов:

– по основе ($R^2 = 0,95606$)

$$R_o = 330 - 22,17 \cdot X_1 - 10,5 \cdot X_2 - 23,5 \cdot X_1^2. \quad (3)$$

– по утку ($R^2 = 0,97847$)

$$R_y = 266 - 20,67 \cdot X_1 - 11 \cdot X_2 - 19,67 \cdot X_1^2. \quad (4)$$

Данные показателя гигроскопичности описываются моделью первого порядка, что указывает на отсутствие влияния концентрации фермента пектолитической активности на указанное свойство (Марущак и др., 2023). Данные коэффициента капиллярности описываются линейной зависимостью от анализируемых факторов. Экспериментальные данные по разрывной нагрузке хлопчатобумажной ткани представлены моделями второго порядка. При этом очевидно, что с увеличением концентрации двух препаратов прочность материала снижается одновременно в двух направлениях (по основе и утку).

По полученным моделям построены графические образы зависимости свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции, позволяющие выявить области рациональных решений при выборе гигиенических и физико-механических свойств (рисунки 2–4).

Анализ полученных моделей показывает, что увеличение концентрации препаратов ухудшает прочностные

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов
Table 1 – Levels and intervals of factor variations

Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Концентрация Энзитекс ЦКП, г/л, X_1	0,5	2,5	4,5	2
Концентрация Энзитекс Био-К, г/л, X_2	0,5	2,5	4,5	2

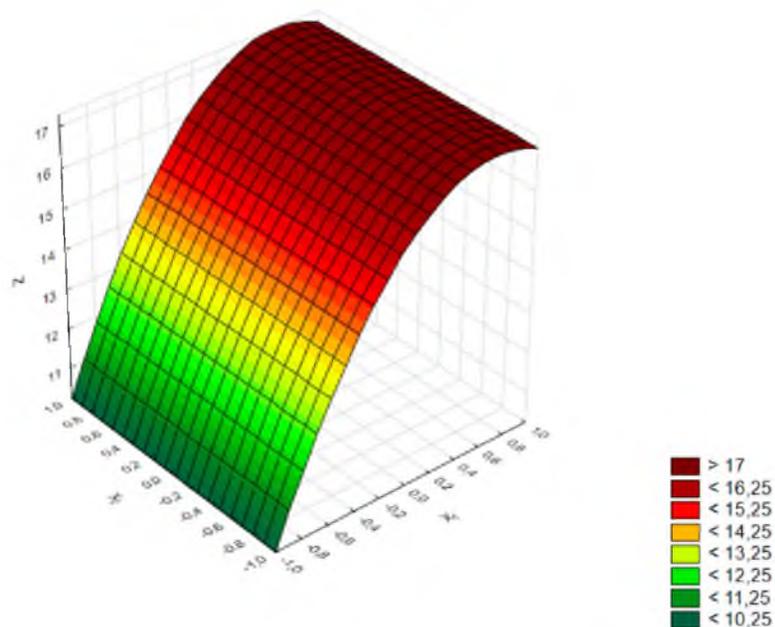


Рисунок 2 – Графическая зависимость гигроскопичности (%) от концентрации целлюлолитического и пектолитического ферментных препаратов
Figure 2 – Graphical dependence of hygrosopicity (%) on the concentration of cellulolytic and pectolytic enzyme preparations

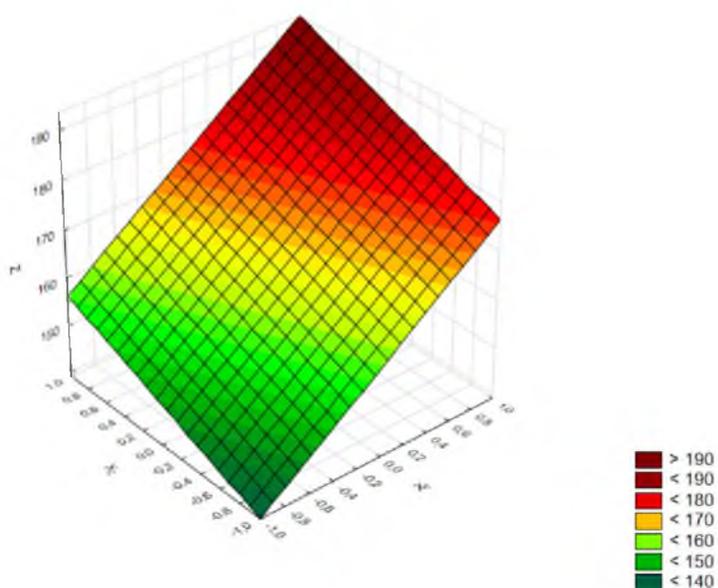
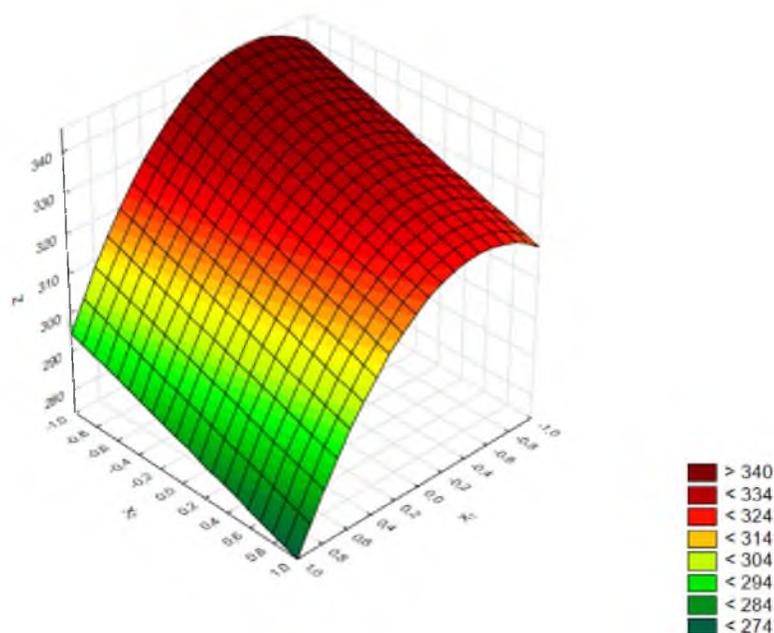
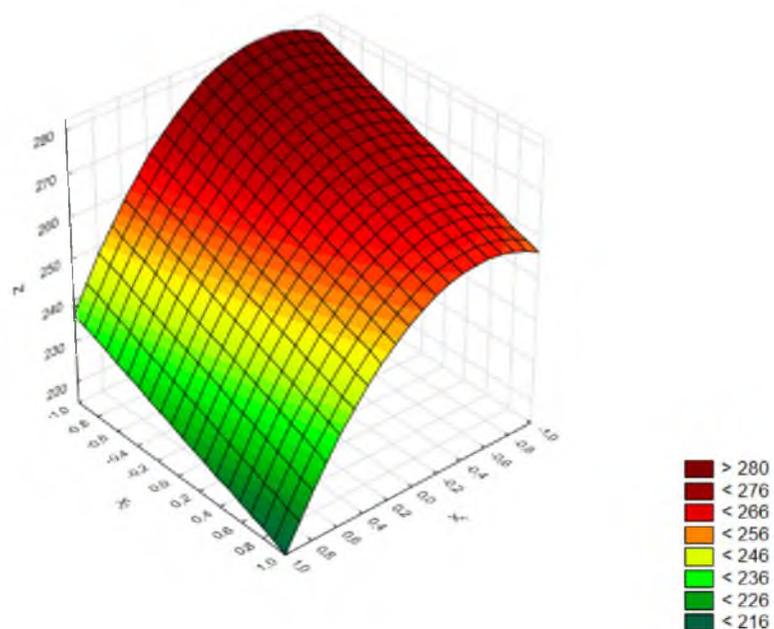


Рисунок 3 – Графическая зависимость капиллярности (мм/час) от концентрации целлюлолитического и пектолитического ферментных препаратов
Figure 3 – Graphical dependence of capillarity (mm/hour) on the concentration of cellulolytic and pectolytic enzyme preparations



а



б (b)

Рисунок 4 – Графическая зависимость разрывной нагрузки (N) по основе (а) и утку (б) от концентрации целлюлолитического и пектолитического ферментных препаратов

Figure 4 – Graphical dependence of breaking load (N) on the warp (a) and weft (b) on the concentration of cellulolytic and pectolytic enzyme preparations

свойства материала, улучшая при этом гидрофильные. Увеличение гигроскопичности и капиллярности хлопчатобумажной ткани обусловлено гидролитическим расщеплением пектиновых веществ целлюлозного волокна и самой целлюлозы (Koksharov et al., 2015). Таким образом, придание текстильному материалу высокой гидрофильности достигается за счет деструкции гидрофобных примесей (воскообразных веществ, пектина, зольных веществ), а также нарушения связей между примесями волокна и непосредственно целлюлозой (Чешкова, 2007).

На все свойства в большей степени оказывает влияние концентрация препарата, обладающего целлюлолитической активностью. На показатель гигроскопичности концентрация пектиназы не оказывает влияния вовсе. Полученные результаты позволяют предположить, что наиболее ценными ферментами для лучшей подготовки хлопковых тканей являются целлюлазы, частично разрушающие первичную стенку целлюлозных волокон (Барышева, 2006).

Разрывная нагрузка ткани в обоих направлениях уменьшается после биообработки вне зависимости от вида используемого фермента. Это происходит за счет гидролиза целлюлозы. Целлюлозные материалы являются по физической структуре аморфно-кристаллическими полимерами, у которых большей доступностью отличаются аморфные области, поэтому с них и начинается гидролиз, так как в эти структурные области в первую очередь проникают белковые молекулы фермента (Алеева и др., 2018).

Для выявления области рациональных решений необходимо установить ограничения на выходные параметры (свойства материала), которые регламентируются ГОСТ 29298-2005 «Ткани хлопчатобумажные и смешанные бытовые. Общие технические условия», а также рекомендациями производителя хлопчатобумажных постельных тканей ОАО «БПХО»:

- разрывная нагрузка по основе – не менее 294 Н;
- разрывная нагрузка по утку – не менее 196 Н;
- гигроскопичность – не менее 15 %;
- капиллярность – не менее 150 мм/60 мин.

Анализ графиков позволяет выбрать область рациональных значений концентрации ферментных препаратов в составе полиферментной композиции: концентрация Целлюлаза VI – 2,5–3 г/л, концентрация Пектиназа – 2,5–3 г/л.

Выводы

В результате обработки экспериментальных данных получены теоретико-экспериментальные зависимости эксплуатационных свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции белорусского производства. По полученным моделям построены графические образы зависимости свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от качественного и количественного состава полиферментной композиции. Согласно анализу полученных моделей, установлено:

- увеличение концентрации препаратов ухудшает прочностные свойства материала, улучшая при этом гидрофильные;
- разрывная нагрузка ткани в обоих направлениях уменьшается после биообработки вне зависимости от вида используемого фермента;
- на все исследуемые свойства (капиллярность, гигроскопичность, разрывная нагрузка по основе и утку) в большей степени оказывает влияние концентрация препарата, обладающего целлюлолитической активностью.

Исходя из анализа графиков зависимости гигиенических и физико-механических свойств хлопчатобумажных тканей после биоотварки от состава полиферментной композиции определены рациональные концентрации ферментных препаратов белорусского производства: Энзитекс ЦКО – 2,5–3 г/л, Энзитекс Био-К – 2,5–3 г/л.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Алеева, С.В. (2014). *Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов*. Иваново: ИВГПУ, Российская Федерация.
- Алеева, С.В., Лепилова, О.В. и Кокшаров, С.А. (2018). Биохимические методы развития удельной поверхности льняных материалов для получения сорбентов и демпфирующих композитов. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, по. 4, С. 89–95.

Барышева, Н.В. (2006). *Разработка основ ферментативной технологии отварки хлопчатобумажных тканей*. Москва: РГБ, Российская Федерация.

Бойко, А.Ф. и Кудеников, Е.Ю. (2016). Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*, no. 8, С. 128–132.

Калдыбаев, Р.Т., Набиев, Д.С. и Калдыбаева, Г.Ю. (2020). Исследование влияния пероксидной отбелилки на вязкость и степени белизны хлопковой целлюлозы. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, no. 4, С. 88–93.

Котко, К.А., Ясинская, Н.Н. и Скобова, Н.В. (2020). Нетрадиционный способ придания мягкости хлопкольным махровым изделиям. *Материалы и технологии*, no. 5, С. 7–10.

Кулигин, М.Л. и Евдокимова, В.А. (2012). Разработка технологии расшлихтовки хлопчатобумажных текстильных материалов. *Вісник Хмельницького національного університету*, no. 5, С. 107–111.

Ленько, К.А. и Ясинская, Н.Н. (2022). Исследование содержания примесей хлопкового волокна после биохимической подготовки к крашению с использованием полиферментных композиций. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, no. 5, С. 118–126.

Марущак, Ю.И., Ясинская, Н.Н., Скобова, Н.В. и Сергеев В.Ю. (2023). Зависимость физико-механических свойств экокож от условий формирования полимерного покрытия. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, no. 44, С. 102–113.

Переволоцкая, В.К., Афанасьева, В.А. и Головина, Л.А. (2002). Применения в льноотделочном производстве фермента Целлювиридина Г2Х. *Журнал российского химического общества им. Д. И. Менделеева*, vol. XLVI, no. 2, С. 52–55.

Рахматуллина, Г.Р. и Панкова, Е.А. (2022). Инновационные, экологически безопасные технологии получения высококачественных кож. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, vol. 397, no. 1, С. 192–196.

Топорищева, Н.А., Чешкова, А.В., Каменева, О.А. и Кузнецова, А.А. (2022). Практика колорирования тканей на основе котонина с сохранением природной окраски лигнина льна. *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2022)*, vol. 1, С. 49–51.

Чешкова, А.В. (2007). *Ферменты и технологии для текстиля, моющих средств, кожи, меха*. Иваново: ИВГПУ, Российская Федерация.

Ясинская, Н.Н., Скобова, Н.В. и Ленько, К.А. (2021). Оценка возможности перехода на энергосберегающий режим крашения целлюлозных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, no. 40, С. 158–167.

Koksharov, S.A., Aleeva, S.V. and Lepilova, O.V. (2015). Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning. *AUTEX Research journal*, vol. 3, pp. 215–225.

REFERENCES

Aleeva, S.V. (2014). *Metodologicheskie osnovy sovershenstvovaniya processov biohimicheskoy modifikatsii l'nyanyh tekstil'nyh materialov* [Methodological bases of improvement of processes of biochemical modification of linen textile materials]. Ivanovo: IVGPU, Russian Federation (in Russian).

Aleeva, S.V., Lepilova, O.V. and Koksharov, S.A. (2018). Biochemical methods for the development of specific surface area of linen materials for the production of sorbents and damping composites [Biohimicheskie metody razvitiya udel'noj poverhnosti l'nyanyh materialov dlya polucheniya sorbentov i dempfiroyushchih kompozitov]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*, no. 4, pp. 89–95 (in Russian).

Barysheva, N.V. (2006). *Razrabotka osnov fermentativnoj tekhnologii otvarki hlochatobumazhnyh tkanej* [Development of the basis of enzymatic technology for scouring cotton fabrics]. Moskva: RGB, Russian Federation (in Russian).

Bojko, A.F., Kudenikov and E.Yu. (2016). A precise method for calculating the required number of repeat experiments [Tochnyj metod rascheta neobhodimogo kolichestva povtornyh opytov]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo*

tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova = Bulletin of V.G. Shukhov Belgorod State Technological University, no. 8, pp. 128–132 [in Russian].

Kaldybaev, R.T., Nabiev, D.S. and Kaldybaeva, G.YU. (2020). Investigation of the effect of peroxide bleaching on viscosity and whiteness of cotton pulp [Issledovanie vliyaniya peroksidnoj otbelki na vyazkost' i stepeni belizny hlopkovoj cellyulozy]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*, no. 4, pp. 88–93 [in Russian].

Kotko, K.A. Yasinskaya, N.N. and Skobova, N.V. (2020). Non-traditional method of giving softness to cotton terry products [Netradicionnyj sposob pridaniya myagkosti hlopkol'nyanym mahrovym izdeliyam]. *Materialy i tekhnologii = Materials and technologies*, no. 5, pp. 7–10 [in Russian].

Kuligin, M.L. and Evdokimova, V.A. (2012). Development of the technology of cotton textile materials grinding [Razrabotka tekhnologii rasshlitovki hlopchatobumazhnyh tekstil'nyh materialov]. *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu = Bulletin of Khmelnytsky National University*, no. 5, pp. 107–111 [in Russian].

Len'ko, K.A. and Yasinskaya, N.N. (2022). Investigation of cotton fiber impurity content after biochemical preparation for dyeing using polyenzyme compositions [Issledovanie sodержaniya primesej hlopkovogo volokna posle biohimicheskoj podgotovki k krasheniyu s ispol'zovaniem polifermentnyh kompozicij]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*, no. 5, pp. 118–126 [in Russian].

Marushchak, Yu.I., Yasinskaya, N.N., Skobova, N.V. and Sergeev V.Yu. (2023). Dependence of physical and mechanical properties of eco-leathers on conditions of polymer coating formation [Zavisimost' fiziko-mekhanicheskikh svoystv ekokozh ot uslovij formirovaniya polimernogo pokrytiya]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 1 (44), pp. 102–113 [in Russian].

Perevolockaya, V.K., Afanas'eva, V.A. and Golovina, L.A. (2002). Applications of Celloviridin G2X enzyme in flax finishing production [Primeneniya v l'noodelochnom proizvodstve fermenta Celloviridina G2H]. *Zhurnal rossijskogo himicheskogo obshchestva im. D.I. Mendeleeva = Journal of the Russian Chemical Society named after D.I. Mendeleev*, vol. XLVI, no. 2, pp. 52–55 [in Russian].

Rahmatullina, G.R. and Pankova, E.A. (2022). Innovative, environmentally friendly technologies for the production of high-quality leathers [Innovacionnye, ekologicheski bezopasnye tekhnologii polucheniya vysokokachestvennyh kozh]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noj Promyshlennosti*, vol. 397, no. 1, pp. 192–196 [in Russian].

Toporishcheva, N.A., Cheshkova, A.V., Kameneva, O.A. and Kuznecova, A.A. (2022). Practice of coloring cottonin-based fabrics with preservation of natural coloration of lignin of linen [Praktika kolorirovaniya tkanej na osnove kotonina s sohraneniem prirodnoj okraski lignina l'na]. *Dizajn, tekhnologii i innovacii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti (INNOVACII-2022) = Design, technology and innovation in textile and light industry (INNOVATIONS-2022)*, vol. 1, pp. 49–51 [in Russian].

Cheshkova, A.V. (2007). *Fermenty i tekhnologii dlya tekstilya, moyushchih sredstv, kozhi, mekha* [Enzymes and technologies for textiles, detergents, leather, fur]. Ivanovo: IVGPU, Russian Federation [in Russian].

Yasinskaya, N.N., Skobova, N.V. and Len'ko, K.A. (2021). Assessment of the possibility of transition to energy-saving mode of dyeing of cellulose materials [Ocenka vozmozhnosti perekhoda na energosberegayushchij rezhim krasheniya cellyuloznyh materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 1 (40), pp. 158–167 [in Russian].

Koksharov, S.A., Aleeva, S.V. and Lepilova, O.V. (2015). Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning. *AUTEX Research journal*, vol. 3, pp. 215–225.

Информация об авторах

Information about the authors

Ленько Ксения Александровна

Аспирант кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: kotya240497@mail.ru

Ясинская Наталья Николаевна

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yasinskayNN@rambler.ru

Скобова Наталья Викторовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Ksenia A. Lenko

Postgraduate Student at the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: kotya240497@mail.ru

Natallia N. Yasinskaya

Doctor of Sciences (in Engineering), Chair of the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yasinskayNN@rambler.ru

Natallia V. Skobova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department «Ecology and Chemical Technologies», Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: skobova-nv@mail.ru