

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования

Витебский государственный технологический университет

(УО «ВГТУ»)

УДК 677.047

№ гос.регистрации № 20221216



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе УО «ВГТУ»

д.э.н., проф. Ванкевич Е.В.

2024 г.

М.П.

ОТЧЕТ

о научно-исследовательской работе

**Биохимическая модификация целлюлозных текстильных материалов**

(заключительный)

договор с БРФФИ № T22УЗБ-062 от 04.05.2022 г.

Руководитель НИР,  
заведующий кафедрой «Экология и  
химические технологии»,

д.т.н., доцент

(подпись)

Ясинская Н.Н.

(Ф.И.О.)

«20» 03 2024 г.

Витебск, 2024

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель НИР:

Зав.кафедрой экологии и химических технологий, д.т.н., доцент



Н.Н.Ясинская,

20.03.2024

(общее руководство, введение, заключение, раздел 1, 7, 9, 10)

Исполнители темы:

к.т.н., доцент



Н.В. Скобова (раздел 1, 5, 6,7)

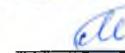
к.т.н., доцент



19.03.2024

И.А. Петюль (раздел 6)

аспирант



20.03.24

Д.Л. Лисовский (раздел 1, 2, 3, 8)

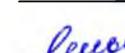
старший научный сотрудник, к.в.н.



19.03.24

И.Н.Архипов (раздел 2)

аспирант



20.03.24

К.А. Ленько (раздел 4, 5, 6, 7)

магистрант



19.03.24

Ю.И.Марущак (раздел 7)

Нормоконтроль



20.03.24

Н.В.Скобова

## РЕФЕРАТ

Отчет 154 с., 1 кн., 92 рис., 26 табл., 84 источн., 1 прил.

ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, БИОХИМИЧЕСКАЯ МОДИФИКАЦИЯ, ЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ВОЛОКНА, ФЕРМЕНТЫ, ЦЕЛЛЮЛАЗЫ, ПЕКТИНАЗЫ, ЛИПАЗЫ, МУЛЬТИЭНЗИМНЫЕ КОМПОЗИЦИИ, ГИГРОСКОПИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Объектом исследований являются текстильные материалы из целлюлозных волокон, технологии биохимической модификации.

Цель работы – развитие теоретических и технологических подходов к управлению биокатализируемыми процессами при переработке целлюлозных текстильных материалов для повышения функциональных и потребительских свойств, а также снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности текстильных технологий.

В ходе выполненной работы исследовано отечественное льняное сырье на содержание целлюлозы и примесных компонентов; разработаны составы мультиэнзимных композиций для целенаправленного извлечения полимерных примесей целлюлозных материалов; исследовано влияние температуры, рН, природы ПАВ на ферментативную активность; влияние биохимической модификации на колористические и физико-механические свойства целлюлозных материалов, разработаны рациональные режимы биохимической модификации для придания им специальных функциональных свойств.

Новизна состоит в разработке рецептур мультиферментных композиций, содержащих энзимы пектолитического, гемицеллюлозного, целлюлолитического, протеолитического и липолитического действия отечественного производства, с учетом состава целлюлозного волокна для глубокой конверсии извлекаемых из волокна примесей; способов биохимической модификации целлюлозных волокон с использованием разработанных составов мультиферментных композиций.

Область применения – предприятия текстильной и легкой промышленности Республики Беларусь и стран СНГ.

Разработанные технологии и рекомендации биохимической модификации целлюлозных текстильных материалов внедрены на ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение», прошли апробацию на РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Информационно-аналитические исследования химического состава, строения, свойств, каталитической активности известных ферментативных систем, процессов биохимической модификации целлюлозных текстильных материалов.....	8
1.1 Область применения ферментов в текстильной промышленности.....	8
1.2 Виды ферментов, применяемых в текстильной промышленности.....	9
2 Исследования отечественного льняного сырья из разных областей Беларуси на содержание основного компонента – целлюлозы и примесных компонентов: гемицеллюлоз, лигнина, пектина, воскообразных веществ и протеина.....	17
2.1 Строение и морфология льняного волокна.....	17
2.2 Химический состав льняного волокна.....	19
2.3 Исследование состава отечественного льняного волокна из различных областей Беларуси.....	22
2.3.1 Методики исследования.....	24
2.3.2 Различия в химическом составе льняного волокна Республики Беларусь.....	28
3 Разработка составов мультиэнзимных композиций для целенаправленного извлечения полимерных примесей целлюлозных текстильных материалов.....	34
3.1 Методы исследований ферментативной активности используемых препаратов.....	34
3.2 Исследование процесса извлечения полимерных примесей хлопчатобумажных текстильных материалов.....	43
3.3 Исследование процесса извлечения полимерных примесей льняных текстильных материалов.....	53
4 Исследование влияния температуры, рН, природы применяемых ПАВ на ферментативную активность препаратов и их способность к избирательному извлечению нежелательных примесей волокна.....	58
4.1 Исследование влияния температуры и рН на ферментативную активность используемых препаратов.....	58
4.2 Исследование влияния поверхностно-активных веществ на качественные показатели текстильных материалов из целлюлозных волокон после биоотварки.....	64
4.3 Исследование влияния температурных режимов на качественные	70

показатели текстильных материалов из целлюлозных волокон после биоотварки.....	
5 Исследование влияния биохимической модификации целлюлозного материала на интенсивность , прочность, равномерность его окрашивания.....	73
6 Выявление зависимости свойств окрашенных образцов с химическим составом, строением, концентрацией ферментативных систем, условиями проведения процесса.....	80
6.1 Исследование зависимости потребительских свойств тканей из целлюлозных волокон от состава ферментной композиции и способа обработки...	80
6.2 Исследование зависимости свойств тканей из целлюлозных волокон от состава аппретирующей композиции при периодическом способе обработки.....	89
7 Исследование возможности применения биохимической модификации для придания специальных свойств целлюлозным текстильным материалам.....	98
8 Обоснование возможности реализации биохимической модификации в процессах специальной отделки материалов. Оптимизация качественного и количественного состава аппрета для умягчающей отделки целлюлозных материалов.....	102
9 Изучение перспектив дальнейшего развития исследований и практического использования полученных результатов.....	116
9.1 Изучение перспектив дальнейшего развития исследований.....	117
9.2 Предварительные исследования биохимической модификации короткого льняного волокна.....	119
9.3 Практическое использование результатов исследований.....	129
10 Результаты сотрудничества сторон	131
Заключение	133
Список использованных источников	136
Приложение	146

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на мировом рынке текстильных изделий интерес потребителей к использованию изделий из натуральных волокон продолжает расти. На долю натуральных растительных волокон приходится около 30 % мирового производства волокон, при этом 24,5 % - на долю хлопка. Кроме того, 6,3 % от общего производства приходится на долю искусственных целлюлозных волокон.

На долю льняного волокна приходится почти 13 % от производства не хлопкового целлюлозного волокна, а Республика Беларусь занимает третье место в мире по его производству. При этом анализ состояния дел, в котором находится льноводство республики, показывает, что главной причиной неэффективной работы льняной отрасли является низкое качество производимого сырья и получаемой из него продукции. Эта проблема многогранна, однако центральное место в ее реализации принадлежит, безусловно, технологиям и реализующим их техническим средствам. Как известно, льняное волокно содержит до 25% природных примесей и загрязнений, поэтому традиционный процесс его подготовки является многостадийным с использованием агрессивных химических реагентов, высоких температур и длительного воздействия, вызывающих деструкцию волокнообразующего полимера, а соответственно, снижение качественных показателей волокнистого материала. Сложившиеся условия диктуют необходимость разработки инновационных технологий подготовки льняных текстильных материалов, которые смогут обеспечить высокое качество получаемых материалов и изделий наряду со снижением экологической нагрузки на окружающую среду за счет уменьшения использования агрессивных химических реагентов и количества потребляемых энергетических и водных ресурсов. Альтернативой традиционной технологии химической отделки целлюлозных текстильных материалов является биотехнология с использованием ферментных препаратов.

Современные технологии переработки натуральных волокон невозможно представить без применения ферментов, которые являются достойной альтернативой использования агрессивных химических реагентов. Оптимальными условиями работы ферментов являются невысокая температура и нейтральная среда, что ведет к снижению потребления энергии, устраняет необходимость поддерживать жесткие условия обработки. Кроме того, применение ферментов при производстве текстильных материалов способно обеспечить придание материалам определенных потребительских свойств, достижение которых невозможно классическими методами.

Применение ферментов является экономически и экологически целесообразным, поскольку они селективно реагируют с субстратом и сводят к минимуму образование

побочных продуктов, безопасно инактивируются, не оказывая вредного воздействия на человека и окружающую среду.

В настоящее время применение ферментов в текстильной промышленности охватывает практически все технологические стадии. Амилазы используются для удаления крахмальной шпикты с нитей основы на стадии расшпиктовки хлопчатобумажных, льняных и смесовых тканей. Целлюлазы активно применяются для обработки текстильных изделий и материалов: создания колористических эффектов и стирке джинсов («биостоунинг»), биополировки трикотажа и изделий на основе хлопчатобумажных и смесовых тканей.

Наконец, в последние годы стало развиваться направление применения пектиназ, гемицеллюлаз и целлюлаз для биотварки суровых хлопчатобумажных и льняных текстильных материалов с целью увеличения смачиваемости целлюлозных волокон, удаления сопутствующих целлюлозному волокну примесей и замены традиционной экологически «грязной» высокотемпературной щелочной отварки.

Еще одним современным направлением применения ферментов в подготовке текстильных материалов стало применение лакказ и лакказ-медиаторных систем для отбеливания суровых тканей и полотен, проведения их делигнификации при низкой температуре без использования химических окислителей, таких как перекись водорода.

Каталазы нашли применение для удаления остаточной перекиси после стадии беления с целью обеспечения равномерного окрашивания.

Таким образом, сегодня ферменты стали неотъемлемой частью технологических процессов текстильной промышленности, их использование позволяет получать высококачественные материалы с заданными свойствами.

Целью работы является развитие теоретических и технологических подходов к управлению биокатализируемыми процессами при переработке целлюлозных текстильных материалов для существенного повышения функциональных и потребительских свойств текстильных полуфабрикатов и готовой продукции, а также снижение энергоемкости и повышение экологической безопасности текстильных технологий.

# **1 Информационно-аналитические исследования химического состава, строения, свойств, каталитической активности известных ферментативных систем, процессов биохимической модификации целлюлозных текстильных материалов**

## **1.1 Область применения ферментов в текстильной промышленности**

Ферменты (энзимы) представляют собой биологические катализаторы, которые снижают энергию активации реакции и повышают ее скорость, при этом не принимая прямого участия в реакции и не влияя на равновесие реакции.

Перспективным направлением модификации целлюлозных текстильных материалов является применение ферментативного катализа в химико-технологических процессах текстильного производства. Задачей биохимической обработки целлюлозных текстильных материалов является биокатализируемая деструкция полимерных соединений для реализации которой требуются теоретически обоснованные рекомендации к подбору ферментативных систем. Уникальная особенность белковых катализаторов заключается в их субстратной специфичности, то есть в избирательном проявлении их активности по отношению к определенному виду исходного соединения, что позволяет осуществлять селективное воздействие на определенные виды полимерных примесей целлюлозного волокна или группы их структурных образований с обеспечением дозированного извлечения.

Основными классами ферментов, применяемыми в текстильной промышленности, являются гидролазы и оксидоредуктазы, применение которых в процессах мокрой обработке текстиля, приведено в таблицах 1.1 и 1.2 соответственно.

Оптимальными условиями работы ферментов являются невысокая температура и нейтральная среда, что ведет к снижению потребления энергии, устраняет необходимость поддерживать жесткие условия обработки. Кроме того, применение ферментов при производстве текстильных материалов способно обеспечить придание материалам определенных потребительских свойств, достижение которых невозможно классическими методами.

Применение ферментов является экономически и экологически целесообразным, поскольку они селективно реагируют с субстратом и сводят к минимуму образование побочных продуктов, безопасно инактивируются, не оказывая вредного воздействия на человека и окружающую среду [1-4].

Наиболее развитыми и перспективными направлениями применения ферментов являются расщиповка амилазами, биоотварка щелочными пектиназами и их смесями с

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Amit Madhu, J.N. Chakraborty Developments in application of enzymes for textile processing // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 145. № 1. P. 114-133. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617300136> (дата обращения 10.05.2022).
2. Cavaco-Paulo A., Gubitz G. M. Textile Processing with Enzymes // Woodhead Publishing Ltd. - 2003. - P.228.
3. Kiro Mojsov Application of enzymes in the textile industry: a review // II International Congress “Engineering, Ecology and Materials in the Processing Industry”. – 2011. – P.230-239. - URL: <https://eprints.ugd.edu.mk/1381/1/Application%20of%20enzymes%20in%20the%20> (дата обращения 2022-06-15).
4. Rita Araújo, Margarida Casal & Artur Cavaco-Paulo Application of enzymes for textile fibres processing // Biocatalysis and Biotransformation. – 2008. – Vol.26. Issue 5. P. 332-349. - URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10242420802390457> (дата обращения 08.05.2022).
5. Deepak Kumar, Raveena Bhardwaj, Sunena Jassal, Tanya Goyal, Aastha Khullar & Naveen Gupta Application of enzymes for an eco-friendly approach to textile processing // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. - URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-16764-4> (дата обращения 08.05.2022).
6. Nima Chand a, Ali Shams Nateri, Reza H. Sajedi, Atiyeh Mahdavi, Mehdi Rassa Enzymatic desizing of cotton fabric using a Ca<sup>2+</sup>-independent  $\alpha$ -amylase with acidic pH profile // Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. - 2012. – Vol. 83. – P.46-50. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1381117712001944> (дата обращения 28.05.2022).
7. Paula Monteiro de Souza and Pérola de Oliveira Magalhães Application of microbial  $\alpha$ -amylase in industry // Braz J Microbiol. – 2010. - Vol. 41(4): 850–861. - URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3769773> (дата обращения 21.05.2022).
8. CHT. Textile Auxiliary Solutions. - URL: [https://solutions.cht.com/cht/web.nsf/id/pa\\_pretreatment\\_en.html](https://solutions.cht.com/cht/web.nsf/id/pa_pretreatment_en.html) (дата обращения 10.05.2022).
9. Pulcra Chemicals. Medical Hygiene Products. - URL: [https://pulcra-chemicals.com/wp-content/uploads/Medical\\_Hygiene\\_Products.pdf](https://pulcra-chemicals.com/wp-content/uploads/Medical_Hygiene_Products.pdf), (дата обращения 10.05.2022).
10. Archroma. Clothing, textiles & leather materials. HARD CORE. - URL: <https://www.archroma.com/systems/hard-core> (дата обращения 10.05.2022).

11. Группа компаний Фермент. Текстильная промышленность. - URL: [https://fermentpark.com/catalog/industry/textile\\_industry/](https://fermentpark.com/catalog/industry/textile_industry/) (дата обращения 11.05.2022).
12. Rudolf. Enzymes. - URL: <https://www.rudolf-duraner.com.tr/en/products/textile-auxiliaries/pre-treatment/enzymes/> (дата обращения 11.05.2022).
13. Novozymes. Aquazym. - URL: <https://biosolutions.novozymes.com/en/textiles/products/desizing/aquazym> (дата обращения 11.05.2022).
14. Ranveer Singh Jayani, Shivalika Saxena, Reena Gupta Microbial pectinolytic enzymes: A review // Process Biochemistry. – 2005. – Vol.40. -Issue 9. - P. 2931-2944. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359511305001765> (дата обращения 20.05.2022).
15. Pooja Kohli, Reena Gupta Alkaline pectinases: A review // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology – 2015. – Vol.4. - Issue 3. - P. 279-285. - URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818115000821> (дата обращения 20.06.2022).
16. Mojsov, Kiro Biotechnological applications of pectinases in textile processing and bioscouring of cotton fibers // In: II International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection. - 2012. – P.314-322. - URL: [https://www.researchgate.net/publication/233783968\\_Biotechnological\\_applications\\_of\\_pectinases\\_in\\_textile\\_processing\\_and\\_bioscouring\\_of\\_cotton\\_fibers](https://www.researchgate.net/publication/233783968_Biotechnological_applications_of_pectinases_in_textile_processing_and_bioscouring_of_cotton_fibers) (дата обращения 20.06.2022).
17. Sunsonenzyme. Alkaline pectinase for textile Conzyme SPA-5. - URL: [http://www.sunsonenzyme.com/Products/Textile/Bio\\_scouring/2017/0531/198.html](http://www.sunsonenzyme.com/Products/Textile/Bio_scouring/2017/0531/198.html) (дата обращения 12.06.2022);
18. Novozymes. Enzymes for biopreparation. - URL: <https://biosolutions.novozymes.com/en/leather-textiles/textiles/biopreparation>. (дата обращения 12.06.2022).
19. JA Foulk, DE Akin, RB Dodd Influence of pectinolytic enzymes on retting effectiveness and resultant fiber properties // BioResources. – 2008. - 3(1). – P.155-169. - URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/influence-of-pectinolytic-enzymes-on-retting-effectiveness-and-resultant-fiber-properties/> (дата обращения 12.06.2022).
20. PRODUCT LIST Enzyme solutions for textile and garment processing. - URL: [http://primagreen.org/fileadmin/user\\_upload/live/primagreen/documents/Genencor\\_ProductListTextiles2011.pdf](http://primagreen.org/fileadmin/user_upload/live/primagreen/documents/Genencor_ProductListTextiles2011.pdf) (дата обращения 05.06.2022).
21. E. Karapinar, M.O. Sariisik Scouring of cotton with cellulase, Pectinases and proteases // Fibres and Textiles Eastern Europe. – 2004. -Vol. 12. - P.79-84. - URL: [http://www.fibtex.lodz.pl/47\\_19\\_79.pdf](http://www.fibtex.lodz.pl/47_19_79.pdf) (дата обращения 17.06.2022).

22. T.K. Ghose Measurement of Cellulase Activities // Pure and Applied Chemistry. – 1987. - Vol. 59. - №.2 - P.257–268. - URL: <https://scirp.org/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2355764> (дата обращения 17.06.2022).

23. D. Saravanan, S. N. Sree Lakshmi, K. Senthil Raja, N. S. Vasanthin Biopolishing of cotton fabric with fungal cellulase and its effect on the morphology of cotton fibres // Indian Journal of Fibre & Textile Research. – 2013. - Vol.38. - P.156-160. - URL: <http://www.dl.edi-info.ir/Biopolishing%20of%20cotton%20fabric%20with%20fungal%20cellulase.pdf> (дата обращения 13.06.2022).

24. Kristina Šimić, Ivo Soljačić and Tanja Pušić Application of Cellulases in the Process of Finishing // Tekstilec. – 2015. - Vol. 58 - № 1. - P.47–56. - URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/197905211.pdf> (дата обращения 17.06.2022).

25. Susana Rodríguez Couto and José Luis Toca-Herrera Lacasses in the textile industry // Biotechnology and Molecular Biology Review. – 2006. - Vol. 1 (4). - P. 115-120. - URL: <https://academicjournals.org/journal/BMBR/article-full-text-pdf/1C6FD3040214> (дата обращения 22.06.2022).

26. Nalankilli G., Sundar A.E. Biobleaching // Asian Textile Journal. – 2002. - Vol. 2. - №.7. - P. 33–34.

27. T. Tzanko at al. Hydrogen Peroxide Generation with Immobilized Glucose Oxidase for Textile Bleaching // Journal of Biotechnology. – 2002. - Vol. 93. - № 1. - P. 87–94. - URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11690697/> (дата обращения 30.06.2022).

28. P. Anis, A. Davulcu, H.A. Erien Enzymatic Pretreatment of Cotton. Part 2 - Peroxide Generation in Desizing Liquor and Bleaching // Fibres and Textiles in Eastern Europe. – 2009. - Vol. 17. - № 2. - P.87–90. - URL: <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.baztech-be3f2a3e-6310-4d64-9d5b-0b0d76541413> (дата обращения 15.07.2022).

29. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) : учебник для вузов. / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев, А. И. Кобляков. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Легпромбытиздат, 1989. - 352 с.

30. Льноводство / [Отв.ред.А.Р.Рогаш]. - М.: Колос, 1967. - 583с.

31. Пашин, Е.Л. Особенности внутренней структуры стебля льна в связи с его технологической ценностью/ Е.Л. Пашин, Л.В.Пашина // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2008. - №6(312). – С.17-19.

32. Структура клеточной стенки лубяного волокна. Модель надмолекулярного строения целлюлозы лубяных волокон – URL: [https://studexpo.net/1278487/tehnologiya\\_mashinostroeniya/struktura\\_kletochnoy\\_stenki\\_luby](https://studexpo.net/1278487/tehnologiya_mashinostroeniya/struktura_kletochnoy_stenki_luby)

nogo\_volokna\_model\_nadmolekulyarnogo\_stroeniya\_tsellyulozy\_lubyanyh\_volokon#890 (дата обращения 12.09.2023).

33. Шустов, Ю. С. Основы текстильного материаловедения: учебное пособие. - М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. - 302 с.

34. Еремина, К.И. Текстильные волокна, их получение и свойства / К.И. Еремина, Б.М. Борухсон. - М. : Легкая индустрия, 1996. —308 с.

35. Opperskalski, S., Siew, S.Y., Tan, E., Trusco, E. Preferred Fiber & Materials Market Report 2019 [online] // Textile Exchange. - URL: [https://store.textileexchange.org/wp-content/uploads/woocommerce\\_uploads/2019/11/Textile-Exchange\\_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report\\_2019.pdf](https://store.textileexchange.org/wp-content/uploads/woocommerce_uploads/2019/11/Textile-Exchange_PREFERRED-Fiber-Material-Market-Report_2019.pdf). (дата обращения 12.08.2022).

36. Production Quantity of flax fiber and tow [online] // Food and agricultural organization of the United Nations. - URL: <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC>. (дата обращения 12.08.2022).

37. СТБ 1850-2009 Волокно льняное короткое. Технические условия. – Введ. 2010-07-01. - Мн.: Госстандарт, 2010. -20 с.

38. СТБ 1195-2008 Волокно льняное трепаное длинное. Технические условия. - Введ. 2008-04-30. - Мн.: Госстандарт, 2008. - 32 с.

39. Кокшаров, С.А. Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца "Зарянка" и "Могилевский-2" / С.А. Кокшаров, С.В. Алеева, О.А. Скобелева, А.Ю. Кудряшов // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. – 2011. - Т. 54. - №6. - С. 93-96.

40. Кокшаров, С.А. Свойства льняного волокна селекционного сорта льна-долгунца "А-93" с опытных участков в тверской и костромской областях / С.А. Кокшаров, С.В.Алеева, Т.А. Кудряшова, А.Ю. Кудряшов // Химия растительного сырья. – 2008. - №3. - С. 51-54.

41. Лисовский, Д.Л. Особенности химического состава трепаного льняного волокна, выращенного в различных регионах Беларуси / Д.Л. Лисовский, Н.Н. Ясинская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2021. - № 2 (41). – С.124-131

42. Оболенская, А. В. Практические работы по химии древесины и целлюлозы / А.В. Оболенская [и др]. - М. : Лесная промышленность, 1965. - 411 с.

42. Иванов, А. Н. Физико-химические основы технологии приготовления льнотресты [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук : 05.19.02 : защищена 06.12.1989 / Иванов Анатолий Николаевич. – Кострома, 1989. - 535 с.

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

44. Алеева, С.В. Влияние содержания лигнина и гемицеллюлоз на жесткость льняных тканых полотен // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2013. - № 5 (347). - С. 129-131.

45. Алеева, С.В. Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов [Текст] : дисс. ... докт. техн. наук : 05.19.02 : защищена 19.05.2014 / Алеева, Светлана Владимировна. – Иваново, 2014. - 396 с.

46. Пряжникова, В.Г. Создание и применение препарата на базе ПАВ для интенсифицированной отварки хлопчатобумажных тканей: дис...канд. техн. наук: 05.19.02 : защищена 01.12.20203 / Пряжникова Виктория Георгиевна. - Иваново, 2003. – 134 с.

47. Ленько, К.А. Влияние биоотварки на содержание воскообразных и жировых примесей хлопка / К. А. Ленько, Н. Н. Ясинская // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х частях, Кострома, 24–25 марта 2022 года. Часть 2. – Кострома: Костромской государственный университет, 2022. – С. 70-74.

48. Кричевский, Г. Е. Химическая технология текстильных материалов : в 3 т. Т.1 / Г. Е. Кричевский. - М.: Изд. РосЗИТЛП, 2000. – 436 с.

49. Барышева, Н.В. Разработка основ ферментативной технологии отварки хлопчатобумажных тканей: дис...канд. техн. наук : 05.19.02 : защищена 14.02.2006 / Барышева Наталья Викторовна. - М., 2006. – 179 с.

50. Koksharov, S. Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning / S.Koksharov, S.Aleeva, O.Lepilova // AUTEX Research journal. – 2015, - P. 215...225.

51. Алеева, С.В. Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов / С.В. Алеева, С.А. Кокшаров // Российский химический журнал им. Д.И. Менделеева. – 2011, №3. С. 46...58.

52. Ленько, К.А. Исследование содержания примесей хлопкового волокна после биохимической подготовки к крашению с использованием полиферментных композиций / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2022. – № 5. – С. 118-126.

53. Xueyun Zheng, Yimin Zhang, Xiaoxiao Liu, Cheng Li, Ying Lin and Shuli Liang 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. - Vol. 8. - article 850. URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00850/full> (дата обращения 10.11.2022).

54. Miller, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar // Anal. Chem. - 31(3). – P.426-428.

55. Лисовский, Д. Л. Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина / Д. Л. Лисовский, Н. Н. Ясинская // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2022. – № 2(43). – С. 94-103. – DOI 10.24412/2079-7958-2022-2-94-103. – EDN NKLVMY.

56. Ленько, К.А. Степень суммарной очистки хлопка от сопутствующих примесей после биоотварки / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская // Производственные системы будущего: опыт внедрения Lean и экологических решений : Материалы международной научно-практической конференции, Кемерово, 13–14 апреля 2022 года / Под редакцией Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2022. – С. 0513.1-0513.5.

57. Ленько, К.А. Экологизация операции отварки в процессе подготовки хлопчатобумажных текстильных материалов / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская // Экология и общество: баланс интересов : Сборник материалов Междунар. науч.-практ. конф, Вологда, 20–22апреля 2022 года / Отв. редактор А.А. Шабунова. – Вологда: Вологодский научный центр РАН, 2022. – С.105-111.

58. Ленько, К.А. Извлечение зольных примесей хлопка после экологически чистой биохимической подготовки ткани к крашению / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2022) : Сборник материалов Международной научно-технической конференции, Москва, 16 ноября 2022 года. Часть 2. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2022. – С.138-141.

59. Ленько, К.А. Влияние режимов отварки на степень повреждения целлюлозы / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская // Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : В ДВУХ ТОМАХ, Витебск, 27 апреля 2022 года. Том 1. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2022 - С. 321-324.

60. Ленъко, К.А. Исследование оптической плотности серноокислых растворов целлюлозы после отварки как ключевой фактор экологизации / К.А. Ленъко, Н.Н. Ясинская // Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов : В ДВУХ ТОМАХ, Витебск, 27 апреля 2022 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2022 - С.400-403.

61. Natalia Yasinskaya, Kseniya Lenko, Natalia Skobova, and Dmitry Lisovsky, "Method for refining terry products using biotechnology", AIP Conference Proceedings 2430, 070004 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0077289>.

62. Чешкова, А.В. Ферменты и технологии для текстиля, моющих средств, кожи, меха: учебное пособие / А.В.Чешкова ; ГОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет». – Иваново, 2007 - 289 с.

63. Волков, В. А. Использование капиллярного метода для характеристики влияния природы ПАВ на капиллярные свойства отваренной ткани / В. А. Волков, А. А. Агеев // Технические науки: проблемы и перспективы : сборник статей международной научно-практической конференции, Уфа, 23 августа 2015 года / Ответственный редактор: Сукиасян Асатур Альбертович. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2015. – С. 14-17.

64. Мельников, Б. Н. Роль текстильных вспомогательных веществ. Прогресс текстильной химии и технологии / Б. Н. Мельников // Российский химический журнал. – 2002. – Т.XLVI – №1. – С. 9-19.

65. Желдакова, Р. А. Фитопатогенные микроорганизмы / Р. А. Желдакова, В. Е. Мямин. - Мн.: БГУ, 2006. - 116 с.

66. Ленъко, К.А. Исследование смачивающей способности текстильных материалов после обработки ферментсодержащими композициями / К.А. Ленъко, Н.Н. Ясинская, Н.В. Скобова, Д.Л. Лисовский // Лёгкая промышленность: проблемы и перспективы : Материалы Международной научно-технической конференции, Омск, 23–24 ноября 2021 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2021. – С. 59...63.

67. Ясинская, Н.Н. Энергосберегающая технология подготовки хлопчатобумажных тканей к крашению / Н.Н. Ясинская, К.А. Ленъко, Ю.И. Марущак // Вестник Витебского государственного технологического университета. - 2022. - № 2 (43). - С. 126-134.

68. Ленъко, К.А. Биотехнология как экологическая альтернатива классической подготовке целлюлозных текстильных материалов к крашению / К.А. Ленъко, Н.Н. Ясинская // Беларусь-Китай: контуры инновационно-технологического сотрудничества: сборник материалов научно-практической конференции, Минск, 19–20 октября 2023 г. / БНТУ. - Минск, 2023. – С.147-148.

69. Ленько, К.А. Биохимическая технология отварки как способ повышения экологичности подготовки хлопчатобумажных тканей к крашению / К.А. Ленько, Н.Н. Ясинская, Д.Л. Лисовский, Рафиков А.С. // Беларусь-Узбекистан: формирование рынка инновационной продукции: сб. материалов науч.-практ. конф., Минск, 14-15 марта 2023 г / БНТУ. - Минск, 2023. – С.225-227.

70. Ленько, К.А. Ресурсосберегающая технология биохимической обработки текстильных материалов и методика оценки её эффективности / К.А. Ленько, Ю.И. Марущак // Производственные системы будущего: опыт внедрения Lean и экологических решений : Материалы международной научно-практической конференции, Кемерово, 6–7 апреля 2023 года / Под редакцией Т.В. Галаниной, М.И. Баумгартэна. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 514.1-514.7

71. Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Петюль И.А., Ленько К.А. Исследование туше хлопчатобумажных текстильных материалов после умягчающей отделки ферментсодержащими композициями // Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2022) : сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием, Москва, 18–20 апреля 2022 года. Том 4. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2022. – С. 81-85.

72. Шаршунов, В.А., Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В.А. Шаршунов, А.С. Алексеенко, М.В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. - №2.- С. 267...271.

73. Статистический ежегодник 2022, Минск, Национальный статистический комитет Республики Беларусь, [Электронный ресурс]: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniibet4h4icu0kdlturoipo8.pdf>. Дата обращения: 25.06.2023.

74. 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.

75. Пашин, Е.Л. Направление использования льна взамен хлопка // *Аграрный вестник Нечерноземья*. – 2021, №2 (2). С. 24...30. URL: [https://doi.org/10.52025/2712-8679\\_2021\\_02\\_24](https://doi.org/10.52025/2712-8679_2021_02_24) (дата обращения 18.12.2023)

76. 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.

77. Карев, А.С. Влияние влажности короткого льняного волокна на процесс ферментно-механической котонизации / А.С. Карев, А.В. Чешкова, Т.Н. Беякова, И.М. Захарова, А.М. Воронин // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* – 2010. - № 7 (328). - С. 34...37.

78. Топорищева, Н.А. Биохимическая технология подготовки для получения актуальных гладкокрашеных котонинсодержащих тканей / Н.А.Топорищева, Е.Н.Мухина, А.В. Чешкова // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности.* – 2020 - № 5 (389). - С. 62...68.

79. Чешкова, А.В. Перспективы маломодульных ферментативных экотехнологий котонизации / А.В. Чешкова, В.А. Логинова, И.М. Захарова, Т.С. Фролова // *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности.* – 2019 - Т. 46. - №4. - С. 20...26.

80. Kozłowski R., Czaplicki Z., Zaręba 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. – URL: <https://doi.org/10.1080/15440478.2011.630224> (дата обращения 26.12.2023).

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

82. 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 / А.Б. Назарова и [др]. // *Успехи современного естествознания.* – 2019. - № 11.- С. 15...19.

83. Rafikov A. S., Ibodulloyev B. S. U., Yasinskaya N.N., Khakimova M. S. Graft copolymers of collagen and acrylic monomers—Reagents for sizing of cotton yarn // *Polymer Engineering & Science*

84. Rafikov AS, Fayzullaeva K, Shonakhunov TE, Soyibova DBQ, Yasinskaya NN. Enzymatic treatment of cotton fabric for desizing. *J Chem Eng Res Updates.*2023; 10: 31-41. DOI:<https://doi.org/10.15377/2409-983X.2023.10.3>