

ферментативной обработки. Ферментативная обработка при температуре 50–60 °С в течение 1,5–2 часов выявила наибольшие показатели капиллярности тканей и количество сахаров в растворе.

При сравнении механических свойств ткани, изготовленной из вторичной целлюлозы, после традиционной подготовки и биоотварки можно заметить, что оба способа отделки оказали положительное влияние на эти характеристики. Наблюдается повышение стойкости тканей к истиранию и разрывной нагрузке, и удлинения при разрыве по утку. Для образца суровой ткани значение воздухопроницаемости составляет 25,5 см³/см²·с. После ферментативной обработки это значение увеличивается на 2,3–7,4 %. Это объясняется увеличением расстояния между волокнами за счёт удаления проклеивающего крахмального слоя и маленьких волоконцев в случае применения фермента.

После обработки ткани из вторичной целлюлозы раствором фермента целлюлазы улучшается сорбция и фиксация красителей на волокнах материала. Устойчивость окраски к различным погодным и физико-механическим воздействиям показала самую высокую оценку. Применение вторичной целлюлозы, восстановленной из текстильных отходов, в производстве текстильного материала способствует решению одной из острых экологических проблем и имеет экономическую эффективность путем целенаправленной утилизации технологических отходов.

Список использованных источников

1. Ahuja, S. K., Ferreira, G. M., Moreira, A. R. Utilization of enzymes for environmental applications. *Critical Rev in Biotech*, 2004, V. 24 (2–3), P.125–154. <https://doi.org/10.1080/07388550490493726>.
2. Araujo, R., Casal, M., Cavaco-Paulo, A. Application of enzymes for textile fibres processing. *Biocatal. Biotransfor*, 2008, V. 26 (5), P. 332–349. <http://doi.org/10.1080/10242420802390457>.
3. Gautam, R. L., Bharadwaj, A. K., Shaailendra Kumar Sh., Narain, R. Microbial enzymes for the variable applications of textile industry processing. *Valorization of Biomass to Bioproducts. Biochem and Biomat. Chapter 14*, 2023, P. 297–321. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822887-6.00003-6>.
4. Priya Sutaoney, Sachchida Nand Rai, Sakshi Sinha at all. Current perspective in research and industrial applications of microbial cellulases. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024, V. 264, Part 1, 130639 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.130639>.
5. Hao, L., Wang, R., Zhang, L., Fang, K., Men, Y., Qi, Z., Jiao, P., Tian, J., Liu, J. Utilizing cellulase as a hydrogen peroxide stabilizer to combine the biopolishing and bleaching procedures of cotton cellulose in one bath. *Cell.*, 2014, V. 21 (1), P. 777–789. <https://doi.org/10.1007/s10570-013-0130-1>.
6. Rafikov, A., Fayzullayeva, K., Yasinskaya, N. Enzymatic treatment of cotton fabric for desizing. *J of Chemical Eng Research Updates*. 2023, 2. <https://doi.org/10.15377/2409-983X.2023.10.2>.

УДК 677.016

КРАШЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОСЛЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ МОДИФИКАЦИИ

**Файзуллаева К. С.¹, докторант, Рафиков А. С.¹, д.х.н., проф.,
Ясинская Н. Н.², д.т.н., проф.**

¹*Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
г. Ташкент, Республика Узбекистан*

²*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Произведена биохимическая подготовка хлопчатобумажной ткани путем выдерживания в растворе, содержащем α-амилазу, липазу и гидроксид натрия. Подготовленные образцы тканей окрашены активным красителем «Chemactive orange 2 RL R.O Besiktas/Istanbul». Определены цветовые характеристики окрашенных образцов.

Ключевые слова: фермент, целлюлоза, активный краситель, координаты цвета, прочность окрашивания.

Введение. Модификация целлюлозы текстильных материалов стала актуальной и широко изучаемой темой во всем мире [1]. Традиционно модификация целлюлозы осуществляется физическим или химическим методами [2], при этом не всегда удается придать молекулам новые функциональные свойства, их состав и структура не всегда изменяются в положительном направлении [3]. В настоящее время методы инновационных, экологически чистых и устойчивых биохимических технологий модификации, влияющих на структуру и свойства целлюлозы, признаны наиболее перспективными [4, 5]. Преимущества биохимической модификации с использованием различных ферментов заключаются в улучшении функциональных свойств целлюлозы, снижении затрат энергии и загрязнения окружающей среды, а также в высокой специфичности и селективности [6]. В современной литературе сообщается о большом количестве многообещающих результатов, однако условия обработки текстиля, характеризующиеся высокими температурами, экстремальными значениями pH и очень длительной кинетикой, по-прежнему ограничивают промышленное применение ферментативной модификации [7]. Недостаточно исследованы процессы с применением ферментных комплексов, вопросы совмещения химической и ферментативной модификации. Ранее сообщалось о ферментативной интенсификации процесса подготовки к крашению хлопковой целлюлозы [8]. Целью данного исследования являлась определение колористических характеристик хлопковой целлюлозы, подготовленной методом биохимической модификации с использованием биферментного комплекса.

Материалы. Объектами исследования являлись хлопчатобумажная суровая ткань с плотностью 120 ± 5 г/м², α -амилаза и липаза, порошкообразные вещества белого цвета, активный краситель Chemactive orange 2 RL R.O Besiktas/Istanbul, гидроксид натрия, силикат натрия, ПАВ.

Метод модификации. Ферментативная и биохимическая модификация целлюлозы произведена в водных растворах α -амилазы (5 г/л) и липазы (5 г/л), а также в растворе, содержащем одновременно α -амилазу, липазу (по 2 г/л каждого) и NaOH. Образец ткани помещали в раствор в соотношении 1:10 и подвергали обработке в термостате при температуре 60 °С, pH 7–8, в течение 2 часов. После этого образец ткани извлекали из раствора, промывали сначала проточной водой, затем дистиллированной водой и высушивали до постоянной массы.

Метод крашения. Процесс крашения был реализован в лаборатории «КОР-Уз Текстильного Технопарка». Непрерывное крашение проводилось в два этапа при модуле ванны 1:30. Активный краситель был взят в количестве 2 % от массы ткани. На первом этапе образец обрабатывали в растворе красителя при температуре 45 °С в течение 30 минут с добавлением раствора NaCl в качестве электролита. На втором этапе к раствору добавили Na₂CO₃ и окрашивали в течение 1 часа. После этого образец тщательно промыли, чтобы полностью удалить излишки красителя с волокна. Промывка осуществлялась сначала холодной, затем горячей (80–90 °С) водой в течение 30 минут. После чего обрабатывали раствором ПАВ при температуре 80–90 °С в течение 30 минут. Последнюю промывку осуществляли в течение 15 минут холодной водой.

Исследования свойств. Интенсивность окраски образцов (K/S) определяли на приборе «X-RITE Color iControl». Измерив испытуемые образцы на спектрофотометре, подсоединенном к компьютеру, получили данные отражения измеряемого цвета (Reflect Data), данные интенсивности окраски (Reflect Data) при различных длинах волн и графики отражения и интенсивности. Из данных Reflect Data выбирают такую длину волны, которой соответствует минимальное значение отражения. Исходя из выбранной длины волны, определяют интенсивность окраски окрашенного образца из данных K/S Data.

Результаты. Колористические показатели окрашенных хлопчатобумажных тканей подготовленных традиционным, биологическим и биохимическим способами приведены в таблице 1.

Чем выше значение интенсивности окраски, тем выше эффективность крашения текстильного материала. В результате эффективного крашения цвета получаются более глубокими. Как видно из данных таблицы 1, при ферментативной подготовке ткани все показатели, включая интенсивность и яркость цвета, выше, чем при традиционном способе подготовки. Самые высокие показатели обнаружены для ткани, обработанной раствором смеси α -амилаза + липаза + NaOH. Полученные данные согласуются с результатами предыдущих исследований. При биохимической модификации целлюлозы с использованием биферментного комплекса волокна имели наибольшую пористость, ткани

соответственно – самую высокую капиллярность, упорядоченную морфологию и структуру. α -Амилаза способствует гидролизу и удалению крахмала, липаза и щелочь – жирно-восковых примесей материала. После мыльной промывки интенсивность и яркость цвета увеличивается.

Таблица 1 – Колористические показатели окрашенных хлопчатобумажных тканей, подготовленных разными способами, числитель до и знаменатель после мыльной стирки

Метод подготовки	K/S	L*	a*	b*	C*	h°
Традиционный	1,3	75,61	40,30	12,66	47,13	15,58
	2,4	76,26	41,40	13,67	48,23	16,47
α -Амилаза	2,0	76,77	42,27	46,18	61,93	48,21
	3,1	77,66	43,29	47,98	62,78	48,88
Липаза	2,9	75,87	41,75	50,35	66,05	47,67
	3,1	75,99	42,46	51,38	66,05	48,92
α -Амилаза + липаза	3,7	78,63	43,35	50,59	67,44	48,23
	3,9	80,49	44,87	52,17	68,54	48,99
α -Амилаза + липаза +NaOH	3,9	79,56	45,16	52,79	69,65	49,65
	4,8	81,78	47,29	54,14	70,43	50,97

L* – яркость цвета; a*, b* – координаты цвета (a* соответствует красно-зеленой координате, b* относится к желто-синей координате); C* – насыщенность цвета, h° – цветовой тон; K/S – интенсивность цвета

Для двух образцов рассчитано изменение цветовых координат (ΔE) после пятикратной промывки. Для образца, подготовленного традиционным способом $\Delta E = 8,71$; а для образца, подготовленного биохимическим способом $\Delta E = 3,96$. Значит, в окрашенных образцах, подготовленных биохимическим способом, после многократных промывок цветовые характеристики изменяются в меньшей степени. Это говорит о преимуществах применения биохимической модификации для подготовки тканей к крашению.

Важнейшим потребительским свойством, определяющим срок использования текстильного материала, является устойчивость его окраски к физико-химическим воздействиям и действию света. Для окрашенных тканей были определены устойчивость к сухому и мокрому трению, к действию пота и мыльных обработок (табл. 2).

Таблица 2 – Устойчивость окраски к физико-химическим воздействиям окрашенных хлопчатобумажных тканей, подготовленных разными способами: А – изменение первоначальной окраски, Б – степень закрашивания белой ткани

Способ подготовки	Виды устойчивости							
	к сухому трению		к мокрому трению		к поту		к мыльным обработкам	
	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
Традиционный	4, 5	5	4	5	4,5	5	4,5	5
Амилаза	5	5	4, 5	5	5	5	5	5
Липаза	5	5	3	4	5	5	4	4
Амилаза+липаза	5	5	4	5	5	5	4	5
Амилаза+липаза+NaOH	5	5	5	5	5	5	5	5

Устойчивость окраски к трениям характеризует степень фиксации красителя в порах волокон целлюлозы. Степень фиксации в свою очередь, определяется степенью пористости, геометрией пор, так и природой красителя. Устойчивость окраски всех образцов очень высокая. Лучшие показатели имеют образцы, окрашенные после биохимической подготовки и подготовки с применением нескольких видов ферментов. Из полученных данных можно сделать вывод, что чем ниже капиллярность подготовленных тканей, тем ниже их устойчивость окраски.

Заключение. Совместное использование смеси « α -амилаза + липаза + NaOH» в процессах биохимической модификации целлюлозы текстильных материалов к крашению обладает рядом достоинств: обеспечение высокого эффекта обработки при минимальном расходе вещества – 0,5–2,0 г/л; снижение температуры обработки до 50–60 °С по

сравнению с традиционными методами при 90–95 °С; почти полное удаление клеевых, жировых и восковых веществ, а также других загрязнений с поверхности волокон; улучшение структуры, капиллярно-пористых характеристик волокон и явное улучшение колористических характеристик окрашенных образцов тканей.

Список использованных источников

1. Bao, X, Dong, F, Yu, Y, Wang, Q, Wang, P, Fan, X, et al. Green modification of cellulose-based natural materials by HRP-initiated controlled “graft from” polymerization. *Int J Biol Macromol.* 2020; 164: 1237–45. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.248>.
2. Gandini, A, Pasquini, D. The impact of cellulose fiber surface modification on some physico-chemical properties of the ensuing papers. *Ind Crops Prod.* 2012; 35: p. 15–21. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.015>.
3. Repetto, E., Ramirez, C. R., Manzano, V. E., García, N. L., D’Accorso, N. B. Cellulose and starch nanoparticles: function and surface modifications for biomedical application. In: *Polysaccharide Nanoparticles*, Elsevier; 2022, p. 615–640. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822351-2.00023-1>.
4. Shokri, Z at all. Elucidation of the influence of enzymatic modifications on the structure, properties and application of cellulose, chitosan, starch and their derivatives: a review. *Mater Today Chem.* 2022; 24: 100780. <https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2022.100780>.
5. Bahtiyari, Mİ, Ekmekçi Körlü A., Bilisik, K. Bioprocessing of natural textile fibres and clothes. In: Mondal MIH, Ed., *Fundamentals of Natural Fibres and Textiles*, Elsevier; 2021, p. 221–62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821483-1.00007-3>.
6. Luo, Y, Song, K, Ding, X, Wu, X. Environmental sustainability of textiles and apparel: A review of evaluation methods. *Environ Impact Assess Rev.* 2021; 86: 106497. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2020.106497>.
7. Tochetto, G. A., Aragão, AMI, de Oliveira, D., Immich APS. Can enzymatic processes transform textile processes? A critical analysis of the industrial application. *Process Biochem.* 2022; 123: 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2022.10.030>.
8. Rafikov, A., Fayzullayeva, K., Yasinskaya, N. Enzymatic treatment of cotton fabric for desizing. *J of Chemical Eng Research Updates.* 2023, 2 <https://doi.org/10.15377/2409-983X.2023.10.2>.

УДК 677.047.2

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ К КРАШЕНИЮ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИФЕРМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Ленько К. А., асп., Ясинская Н. Н., д.т.н., доц.

*Витебский государственный технологический университет,
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. Исследование направлено на оценку эффективности использования биологических катализаторов с целью снижения негативного воздействия текстильного производства на окружающую среду. Проанализирован состав и свойства сточных вод, полученных при применении традиционных и биохимических методов подготовки тканей к колорированию по показателям «химическое потребление кислорода (ХПК)» и «биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅)».

Ключевые слова: подготовка к колорированию, хлопчатобумажная ткань, отварка, сточные воды, фермент, биотехнология, ХПК, БПК.

Отделочные производства текстильной промышленности представляют собой значительный источник экологических загрязнений. Основная экологическая проблема отрасли заключается в интенсивном использовании разнообразных химических реагентов и генерировании значительных объемов высокотоксичных сточных вод [1]. Особенно остро стоит проблема экологической безопасности производств по отделке хлопчатобумажных текстильных материалов, так как их подготовка отличается особенно большой