МРНТИ 64.29.23

Н.Е. Ботабаев[1] – *основной автор*,
А.К. Бектурсунова[2], **Ж. Серикулы**[3], **А.К. Абсалимова**[4]

[1,3]PhD, ассоц. профессор, [2]PhD, [4]Докторант

[1]https://orcid.org/0000-0001-8999-7801 [2]https://orcid.org/0000-0001-5514-5870
[3]https://orcid.org/0000-0002-6321-4407 [4]https://orcid.org/0009-0000-0271-5040

[1,2,3,4]Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,
Шымкент, Казахстан

[2]botabaev75@mail.ru

©

https://doi.org/10.55956/LYOG9447

ВЛИЯНИЕ НАНОКОМПОЗИЦИИ СЕРЕБРА И КАРБОКСИМЕТИЛКРАХМАЛА НА ЦВЕТ И АНТИБАКТЕРИАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРАШЕННЫХ РЕАКТИВНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ ТКАНЕЙ

Аннотация. В этом исследовании обсуждается изменение цвета и антибактериальной активности хлопчатобумажных трикотажных материалов окрашенных реактивными красителями в оранжевый (Orange 2R) и пурпурный (Rapeko red L) цвета после обработки нанокомпозицией серебра и карбоксиметилкрахмала различной концентрации. Антибактериальную активность тестировали в отношении грамотрицательной бактерии *E. coli* и грамположительной бактерии *S. aureus.* Окрашенные трикотажные ткани, обработанные нанокомпозицией AgКМК, проявляли превосходные антибактериальные свойства независимо от концентрации наносеребра. Изменение цвета трикотажных тканей зависит от содержания наночастиц Ag. Стабильность этих нанокомпозитных трикотажных материалов была испытана к мокрым обработкам. Трикотажные ткани демонстрируют превосходные антибактериальные свойства и превосходную стойкость к стирке. После выдерживания 10 циклов стирки полученные ткани по-прежнему демонстрировали отличные показатели бактериальной стойкости против *Bacillus subtilis* и *Staphylococcus aureus.* Таким образом, этот метод для подготовки антибактериальных окрашенных хлопчатобумажных трикотажных материалов показывает большие потенциальные возможности применения в носках и медицинском текстиле.

Ключевые слова: наночастицы серебра, трикотажный материал, натриевая соль карбоксиметилкрахмала, реактивные красители, светлота, яркость цвета, антибактериальная активность, мокрая обработка.

Ботабаев, Н.Е. Влияние нанокомпозиции серебра и карбоксиметилкрахмала на цвет и антибактериальные характеристики окрашенных реактивными красителями хлопчатобумажных трикотажных тканей [Текст] / Н.Е. Ботабаев, А.К. Бектурсунова, Ж. Серикулы, А.К. Абсалимова // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №3(93). – С.221-229. https://doi.org/10.55956/LYOG9447

Введение. Наночастицы (НЧ) в последние два десятилетия привлекают особое внимание исследователей благодаря своим уникальным физическим и химическим свойствам, связанным со значительной величиной отношения

площади их поверхности к объему, и другим размерным эффектам. Так, одно из важнейших свойств серебра – его бактерицидная и антивирусная активность, которая существенно возрастает при использовании наночастиц вследствие резкого увеличения площади поверхности [1].

Авторами изучен влияния включения наносеребра (AgNPs) на процесс окрашивания вискозных волокон синим реактивным красителем. Благодаря включению AgNP цвет волокон стал зеленовато-голубым. Противомикробная активность была значительно улучшена путем включения AgNP [2]. В исследовании обсуждается взаимосвязь между загрузкой хлопчатобумажной ткани коллоидными наночастицами Ag и окрашиванием прямыми красителями [3].

Некоторые исследователи недавно исследовали окрашивание тканей наночастицами серебра в качестве нового класса красителей. Марьян и его коллеги изготовили целлюлозную джинсовую ткань желтого цвета с антибактериальными свойствами, применяя наночастицы серебра [4]. Tang и др. [5,6] обрабатывали шерстяные и хлопчатобумажные ткани серебряными коллоидами методом погружения. Обработанные ткани показали значительную светостойкость. Кроме того, они окрашивали ткани рами и бамбука наночастицами Ag для достижения превосходных свойств прочности [7,8].

Рехан и др. [9] использовали наночастицы серебра для получения цветных хлопчатобумажных и шерстяных тканей с хорошими прочностными свойствами. Кроме того, Jafari и его коллеги использовали наночастицы серебра разных размеров для окраски шелковых и хлопчатобумажных тканей [10]. Эти ткани с покрытием представлены различными яркими цветами с прочными свойствами прочности.

В этом исследовании обсуждается изменение цвета и антибактериальной активности хлопчатобумажных трикотажных материалов окрашенных реактивными красителями в оранжевый (Orange 2R) и пурпурный (Rapeko red L) цвета после обработки нанокомпозицией серебра и карбоксиметилкрахмала различной концентрации.

Условия и методы исследований. *Материалы.* Для исследований выбрали трикотажное х/б полотно артикула «Интерлок» – поверхностная плотность 80 г/м^2, на 100% состоит из хлопка. Это объясняет его гигиеничность: воздухопроницаемость, гигроскопичность, отсутствие парникового эффекта (производитель Узбекистан).

Для получения нанокомпозиции использовали нитрат серебра марки «хч» (ОАО «Реахим», ГОСТ 1277-75). Все химические вещества использовались в том виде, в котором они были приобретены, без какой-либо дополнительной очистки или обработки.

В качестве восстановителя использовали NaКМК производства ТОО «Хлопкопром-целлюлоза» (Республика Казахстан), массовая доля NaКМК 99,6% (СТ ТОО 40936697-004-2015).

Для крашения трикотажных материалов использовали красители активные (реактивные) цветов оранжевый (Orange 2R) и пурпурный (Rapeko red L) фирмы «BEZEMA CHT Switzerland AG». Карбонат натрия Na_2CO_3, марки «хч», массовая доля основного вещества 99,8% по ГОСТ 83-79, производитель ОАО «Реахим». Сульфат натрия Na_2SO_4 (натрий сернокислый), марки «х», массовая доля основного вешества 99,5% по ГОСТ 4166-76, производитель ОАО «Реахим».

Восстановление ионов серебра и синтез наночастиц серебра. В работе использован метод восстановления ионов серебра с применением NaКМК и ультрафиолетового излучения.

Фотохимическое восстановление ионов серебра в структуре Ag^{+}КМК$^{-}$ до наночастиц проводили посредством их облучения ртутно-кварцевой шаровой лампой сверхвысокого давления ДРШ-250-3.

Для получения дисперсий наночастиц серебра использовали ультразвуковой диспергатор марки УЗДН-1, У-4,2.

Синтез наночастиц осуществляли путем восстановления ионов серебра в водном растворе NaКМК при совместном воздействии ультрафиолетового излучения длиной волны 280-400 нм и ультразвуковых волн частотой 1,7 МГц.

Крашение реактивными красителями и обработка нанокомпозицией Ag+NaКМК. Крашение трикотажного полотна проводили по методике реактивными красителями фирмы BEZEMA по периодическому способу [11].

Крашение проводили при модуле ванны М=30:1 по периодическому способу в красильной ванне содержащей 10 г/л Na_2CO_3, 75 г/л Na_2SO_4 и 2% от массы исследуемого материала реактивного красителя (дихлортриазиновых) при температуре 80ºС в течение 60 минут. После чего промывка в теплой, горячей и холодной водой. Затем промывка в растворе ПАВ (2 г/л) при кипение в течение 10 минут для удаления незафиксированного красителя.

Далее окрашенный трикотажный материал обработали нанокомпозиционным раствором содержащий натрий карбоксиметилкрахмала и наночастиц серебра.

Для получения водного композиционного раствора содержащей 0,4% NaКМК и 0,2% (0,4%) наночастиц серебра, в емкость наливали 50 мл воды, добавляли 0,4 г NaКМК и механической мешалкой перемешивали в течение 10 мин, затем в этот раствор добавляли 50 мл 0,63% (1,26%)-ного водного раствора нитрата серебра и продолжали перемешивание до получения однородного раствора в течение 15-20 мин. Полученный раствор подвергли УЗ-диспергированию и УФ-излучению в течение 15 мин. Затем проводили обработку трикотажных полотен.

Обработку трикотажных полотен во избежание деформации их структуры осуществляли методом аэрозольного нанесения раствора. На 100 г трикотажного материала аэрозольным методом наносили 100 мл полученного композиционного раствора наночастиц серебра (нанесение 100%), после чего материал подвергли ультрафиолетовому излучению в течение 15 мин. После излучения обработанный материал высушили на сушильном шкафе модели 202-ОЕ при температуре 120ºС до остаточной влажности 6%.

Методы испытаний. Исследование степени изменения цветовых характеристик полотен после бактерицидной отделки с наночастицами серебра и карбоксиметилкрахмала проводили на лабораторном колориметре согласно методике [12] в стандартном излучение D_{65}, который рекомендуется при измерении цвета люминесцирующих образцов, поскольку распределение потока излучения УФ-части его спектра нормировано[13].

Диагностику и тестирование антимикробных трикотажных материалов, содержащих наночастицы серебра, проводили в соответствии с межгосударственным стандартом ISO 20743:2007 «Textiles – Determination of antibacterial activity of antibacterial finished products».

Результаты исследований и их обсуждение. Учитывая то, что предлагаемая нанокомпозиция на основе серебра и карбоксиметилкрахмала представляет собой слегка окрашенный раствор, и после заключительной

отделки текстильного материала данным аппретом не предусмотрен процесс промывки, нами исследовано влияния бактерицидной отделки на цветовые характеристики модифицированных полотен трикотажа. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Цветовые координаты и коэффициенты отражения образцов

№	Наименование красителя	Образцы	Светлота, L^*	Координаты	
				a^*	b^*
1	Orange 2R	исх.	73,08	24,72	33,63
2	Orange 2R	0,4% КМК+0,2%Ag	72,41	24,27	33,13
3	Orange 2R	0,4% КМК+0,4%Ag	68,92	21,06	29,38
4	Rapeko red L	исх.	57,55	50,59	-9,33
5	Rapeko red L	0,4% КМК+0,2%Ag	56,41	49,26	-9,87
6	Rapeko red L	0,4% КМК+0,4%Ag	53,11	41,75	-8,75

Самой распространенной формулой определения цветовых характеристик является рекомендуемая Международной комиссией по освещению (МКО) (с французского Commission internationale de l'éclairage – CIE) формула CIELAB, которая входит во многие отечественные и зарубежные стандарты [14]. Для удобной систематизации различных характеристик цвета и подбора гармоничных сочетаний цветов используются системы цветовых кругов [15] и цветовая модель L.a.b. [16]. Подобно географическим координатам - долготе, широте и высоте - значение цвета L*, a * и b * дают возможность определять местонахождение цвета и передавать информацию о нём.

В образцах, окрашенных в оранжевый (Orange 2R) и пурпурный (Rapeko red L) цвет, светлота снижается не значительно, т.е. с 73,08 кд* на 68,93 кд и с 57,55 кд на 53,11 кд соответственно. В обоих образцах желтый цвет перемещается в синюю зону, вследствие чего на поверхности появляются серые оттенки. Но это уже не пятна, а оттенки, следовательно, яркость цветов значительно снижается. Для численного определения яркости цветов в образцах, окрашенных в оранжевый и пурпурный цветов, после антибактериальной обработки наночастицами серебра, использовали следующую формулу (1):

$$B = 683 \cdot Y, \text{ (кд/м}^2\text{)} \quad (1)$$

Здесь, координату Y можно находить через формулы (2) CIELAB, которая входит во многие отечественные и зарубежные стандарты:

$$Y = \sqrt[\frac{1}{3}]{\frac{L+16}{116}} \cdot Y_0 \quad (2)$$

где L – светлота; Y_0 – координата белого цвета в системе XYZ. Для стандартного освещения D_{65} с нормализацией Y=100 нормализованное значение равно: Y_0= 100.

Пользуясь данными L из таблицы 1, рассчитали значения Y для необработанного и обработанных наночастицами серебра образцов, окрашенных в оранжевый и пурпурный цвета, с помощью которого

рассчитывается яркость цвета, полученные расчетные данные занесены в таблицу 2.

Таблица 2.

Колористические характеристики образцов окрашенных в оранжевый и пурпурный цвет

№	Наименование красителя	Образцы	Светлота, L^*	Координата, Y	Яркость цвета, кд/м^2
1	Orange 2R	исх.	73,08	46,39	31684,37
2	Orange 2R	0,4% КМК+0,2%Ag	72,41	44,27	30236,41
3	Orange 2R	0,4% КМК+0,4%Ag	68,92	39 ,23	26794,09
4	Rapeko red L	исх.	57,55	25,49	17409,67
5	Rapeko red L	0,4% КМК+0,2%Ag	56,41	24,32	16610,56
6	Rapeko red L	0,4% КМК+0,4%Ag	53,11	21,15	14445,45

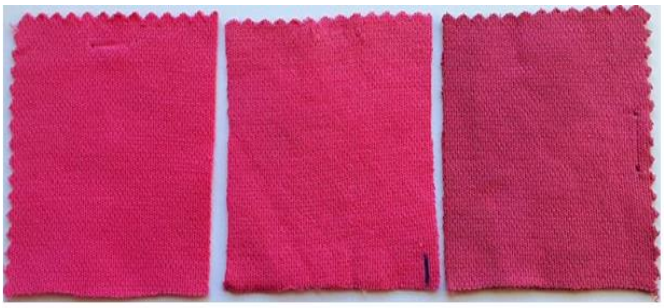
Анализ результатов свидетельствует что, при модификационной обработке окрашенных образцов наночастицами серебра яркость ткани оранжевого цвета обработанный 0,2% Ag снижается на 5%, а обработанный 0,4% Ag снижается до 15,5%. Яркость ткани пурпурного цвета обработанный 0,2% Ag снижается также на 5%, а обработанный 0,4% Ag снижается до 17%. Как известно, яркость это световая величина, характеризующая плотность светового потока, отраженного окрашенным предметом в направлении наблюдателя. Из рисунков 1 и 2 визуально подтверждается, что при концентрации наносеребра 0,2% изменение яркости цветов ощущается незначительно, а с увеличением содержания наносеребра до 0,4% изменение чувствуется визуально. При снижении яркости в обоих образцах визуально тоже ощущается наличие черной примеси.

Результаты испытаний влияния влажных обработок, на антибактериальную активность трикотажного полотна окрашенного реактивным красителем в пурпурный цвет и обработанный нанокомпозиционным раствором $Ag^+КМК^-$ показаны в таблице 3.

a. b. c.

a – исходный окрашенный, без обработки; b – ткань обработанный 0,4% КМК+0,2%Ag; c – ткань обработанный 0,4% КМК+0,4%Ag.

Рис. 1. Изменение визуальных цветовых характеристик хлопчатобумажного трикотажного полотна, окрашенного Orange 2R, после обработки нанокомпозицией Ag–NaКМК различной концентрации



a. b. c.

a – исходный окрашенный, без обработки; b – ткань обработанный 0,4% КМК+0,2%Ag; c – ткань обработанный 0,4% КМК+0,4%Ag.

Рис. 2. Изменение визуальных цветовых характеристик хлопчатобумажного трикотажного полотна, окрашенного Rapeko red L, после обработки нанокомпозицией Ag–NaКМК различной концентрации

Таблица 3

Влияние влажных обработок на значение антибактериальной активности трикотажных полотен модифицированных раствором $Ag^{+}КМК^{-}$

Трикотажный материала обработанный	Кол-во стирок	Значение антибактериальной активности	
		Bacillus subtilis	*Staphylococcus aureus*
0,4% КМК+0,2%Ag	0	5,6	5,5
0,4% КМК+0,2%Ag	1	5,4	5,4
0,4% КМК+0,2%Ag	5	4,8	4,7
0,4% КМК+0,2%Ag	10	4,4	4,3
0,4% КМК+0,4%Ag	0	5,9	6,0
0,4% КМК+0,4%Ag	1	5,9	5,9
0,4% КМК+0,4%Ag	5	5,0	5,1
0,4% КМК+0,4%Ag	10	4,7	4,6

В результате исследования устойчивости трикотажных полотен, обработанных нанокомпозиционным раствором AgКМК к мокрым обработкам, было обнаружено сохранение достаточно высокой антимикробной активности, незначительно снижающейся лишь после десятой стирки в стиральном растворе.

Заключение. Проведённый в настоящей работе анализ изменения окраски хлопчатобумажных трикотажных полотен после обработки их раствором нанокомпозиции серебра и NaКМК, т.е. устойчивости колористических показателей окраски при антибактериальной обработке, доказал эффективность предложенной нанокомпозиции. Изменение цвета трикотажных тканей зависит от содержания наночастиц Ag. Стабильность этих нанокомпозитных трикотажных материалов была испытана к мокрым обработкам. Трикотажные ткани демонстрируют превосходные антибактериальные свойства и превосходную стойкость к стирке. После выдерживания 10 циклов стирки полученные ткани по-прежнему демонстрировали отличные показатели бактериальной стойкости против *Bacillus subtilis* и *Staphylococcus aureus*.

Список литературы

1. Xia Y., Xiong Y., Lim B., Skrabalak S.E. Shape-controlled synthesis of metal nanocrystals: Simple chemistry meets complex physics // Angewandte Chemie International Edition. – 2009. – Vol. 48, No. 1. – P. 60-103. DOI: 10.1002/anie.200802248
2. Ahmed H.B., Emam H.E., Mashaly H.M., Rehan M. Nanosilver effect on reactive dyeing of cellulose fibers: color shading, color fastness and biocidal potentials // Carbohydrate Polymers. – 2018. – Vol. 186. – P. 310-320. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.01.074
3. Lazić V., Šaponjić Z., Vodnik V., Jovančić P., Nedeljković J., Radetić M. Antibacterial and colorimetric evaluation of cotton fabrics dyed with direct dyes and loaded with Ag nanoparticles // Industria Textila. – 2013. – Vol. 64, No. 2. – P. 89-97.
4. Maryan A.S., Montazer M., Harifi T. Synthesis of nano silver on cellulosic denim fabric producing yellow colored garment with antibacterial properties // Carbohydrate Polymers. – 2015. – Vol. 115. – P. 568-574. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.08.100
5. Tang B., Wang J., Xu S., Afrin T., Xu W., Sun L., Wang X. Application of anisotropic silver nanoparticles: multifunctionalization of wool fabric // Journal of Colloid and Interface Science. – 2011. – Vol. 356. – P. 513-518. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.01.054
6. Tang B., Zhang M., Hou X., Li J., Sun L., Wang X. Coloration of Cotton Fibers with Anisotropic Silver Nanoparticles // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. – Vol. 51, No. 39. – P. 12807-12813. DOI: 10.1021/ie3015704
7. Tang B., Yao Y., Li J., Qin S., Zhu H., Kaur J., Chen W., Sun L., Wang X. Functional Application of Noble Metal Nanoparticles In Situ Synthesized on Ramie Fibers // Nanoscale Research Letters. – 2015. – Vol. 10. – Art. 366. DOI: 10.1186/s11671-015-1074-1
8. Tang B., Sun L., Li J., Kaur J., Zhu H., Qin S., Yao Y., Chen W., Wang X. Functionalization of bamboo pulp fabrics with noble metal nanoparticles // Dyes and Pigments. – 2015. – Vol. 113. – P. 289-298. DOI: 10.1016/j.dyepig.2014.08.015
9. Rehan M., Mashaly H.M., Mowafi S., El-Kheir A., Emam H.E. Multi-functional textile design using in-situ Ag NPs incorporation into natural fabric matrix // Dyes and Pigments. – 2015. – Vol. 118. – P. 9-17. DOI: 10.1016/j.dyepig.2015.02.021
10. Jafari N., Karimi L., Mirjalili M., Derakhshan S.J. Effect of Silver Particle Size on Color and Antibacterial Properties of Silk and Cotton Fabrics // Fibers and Polymers. – 2016. – Vol. 17. – P. 888-895. DOI: 10.1007/s12221-016-6052-4
11. Abdukarimova M.Z., Nabiyeva I.A., Ismoilova G.X. To‘qimachilik mahsulotlarini pardozlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg‘ulotlar uchun o‘quv qo‘llanma. – Ташкент: Типография ТИТЛП, 2015. – 364 с.
12. User manual. Computer color matching system operation and maintenance manual. – Korea Industrial Technology ODA, 2012. – 79 p.
13. Шашлов, А.Б. Основы светотехники [Текст] : учебник для вузов / А.Б. Шашлов, Р.М. Уарова, А.В. Чуркин. – Москва: Изд-во МГУП, 2002. – 280 с.
14. Горбунова, Е.В. Типовые расчеты по колориметрии источников излучения [Текст]: учебное пособие / Е.В. Горбунова, А.Н. Чертов. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2014. – 90 с.
15. Домасев, М.В. Цвет, управление цветом, цветовые расчеты и измерения [Текст] / М.В. Домасев, С.П. Гнатюк. – Санкт-Петербург: Питер, 2009. – 224 с.
16. Прохорова, И.А. Разработка методического подхода учета влияния структуры шерстяных тканей на интенсивность окрасок [Текст] / И.А. Прохорова, Е.В. Чепелюк, М.С. Кобыльская, О.П. Сумская // Вестник ХНТУ. Серия «Технология легкой и пищевой промышленности». – 2015. – № 1 (52). – С. 110-116.

Исследования выполнены в рамках проекта AP26199799 «Разработка технологии антибактериальной обработки трикотажных и текстильных материалов», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 05.05.26, принят 04.08.26.

Н.Е. Ботабаев[1], А.К. Бектурсунова[1], Ж.Серікұлы[1], А.К. Абсалимова[1]

[1]*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент, Қазақстан*

РЕАКТИВТІ БОЯҒЫШТАРМЕН БОЯЛҒАН МАҚТА-МАТАДАН ЖАСАЛҒАН МАТАЛАРДЫҢ ТҮСІ МЕН БАКТЕРИЯҒА ҚАРСЫ СИПАТТАМАЛАРЫНА КҮМІС ПЕН КАРБОКСИМЕТИЛКРАХМАЛДЫҢ НАНОКОМПОЗИЦИЯСЫНЫҢ ӘСЕРІ

Аннотация. Бұл зерттеу әр түрлі концентрациядағы күміс пен карбоксиметилкрахмалдың нанокомпозициясымен өңделгеннен кейін қызғылт сары (Orange 2R) және күлгін (Rapeko red L) түстерге реактивті бояғыштармен боялған мақта трикотажының түсі мен бактерияға қарсы белсенділігін қарастырады. Антибактериалды белсенділік грамотеріс *E. coli* бактериясына және грам-оң *S. aureus* бактериясына қатысты сыналды. Adkmk нанокомпозициясымен өңделген боялған трикотаж маталар наносеребрдің концентрациясына қарамастан керемет Бактерияға қарсы қасиеттерді көрсетті. Трикотаж маталардың түсінің өзгеруі Ag КМК нанобөлшектерінің құрамына байланысты. Бұл нанокомпозиттік трикотаж материалдардың тұрақтылығы дымқыл өңдеуге сыналды. Трикотаж маталар тамаша бактерияға қарсы қасиеттері мен тамаша жууға төзімділігін көрсетеді. 10 жуу циклын ұстағаннан кейін, алынған маталар әлі де *Bacillus subtilis*-қа қарсы бактериялық төзімділіктің керемет көрсеткіштерін көрсетті.

Кілт сөздер: күміс нанобөлшектері, трикотаж материалы, карбоксиметилкрахмал натрий тұзы, реактивті бояғыштар, жарықтық, түс жарықтығы, бактерияға қарсы белсенділік, дымқыл өңдеу.

N.E. Botabayev[1], A.K. Bektursunova[1], Zh. Serikuly[1], A.K. Absalimova[1]

[1]*M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Kazakhstan*

THE EFFECT OF SILVER AND CARBOXYMETHYL STARCH NANOCOMPOSITION ON THE COLOR AND ANTIBACTERIAL CHARACTERISTICS OF COTTON KNITTED FABRICS DYED WITH REACTIVE DYES

Abstract. This study discusses the change in color and antibacterial activity of cotton knitted materials dyed with reactive dyes in orange (Orange 2R) and purple (Rapeko red L) colors after treatment with a nanocomposition of silver and carboxymethyl starch of various concentrations. Antibacterial activity was tested against gram-negative *E. coli* bacteria and gram-positive *S. aureus* bacteria. Dyed knitted fabrics treated with AdKMC nanocomposition showed excellent antibacterial properties regardless of the concentration of nanosilver. The color change of knitted fabrics depends on the content of Ag nanoparticles. The stability of these nanocomposite knitted materials has been tested for wet treatments. Knitted fabrics demonstrate excellent antibacterial properties and excellent resistance to washing. After withstanding 10 washing cycles, the resulting fabrics still showed excellent bacterial resistance against *Bacillus subtilis* and *Staphylococcus aureus*. Thus, this method for the preparation of antibacterial dyed cotton knitted materials shows great potential applications in socks and medical textiles.

Keywords: silver nanoparticles, knitted material, sodium salt of carboxymethyl starch, reactive dyes, lightness, color brightness, antibacterial activity, wet treatment.

References

1. Xia Y., Xiong Y., Lim B., Skrabalak S.E. Shape-controlled synthesis of metal nanocrystals: Simple chemistry meets complex physics // Angewandte Chemie International Edition. – 2009. – Vol. 48, No. 1. – P. 60-103. DOI: 10.1002/anie.200802248

2. Ahmed H.B., Emam H.E., Mashaly H.M., Rehan M. Nanosilver effect on reactive dyeing of cellulose fibers: color shading, color fastness and biocidal potentials // Carbohydrate Polymers. – 2018. – Vol. 186. – P. 310-320. DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.01.074
3. Lazić V., Šaponjić Z., Vodnik V., Jovančić P., Nedeljković J., Radetić M. Antibacterial and colorimetric evaluation of cotton fabrics dyed with direct dyes and loaded with Ag nanoparticles // Industria Textila. – 2013. – Vol. 64, No. 2. – P. 89-97.
4. Maryan A.S., Montazer M., Harifi T. Synthesis of nano silver on cellulosic denim fabric producing yellow colored garment with antibacterial properties // Carbohydrate Polymers. – 2015. – Vol. 115. – P. 568-574. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.08.100
5. Tang B., Wang J., Xu S., Afrin T., Xu W., Sun L., Wang X. Application of anisotropic silver nanoparticles: multifunctionalization of wool fabric // Journal of Colloid and Interface Science. – 2011. – Vol. 356. – P. 513-518. DOI: 10.1016/j.jcis.2011.01.054
6. Tang B., Zhang M., Hou X., Li J., Sun L., Wang X. Coloration of Cotton Fibers with Anisotropic Silver Nanoparticles // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2012. – Vol. 51, No. 39. – P. 12807-12813. DOI: 10.1021/ie3015704
7. Tang B., Yao Y., Li J., Qin S., Zhu H., Kaur J., Chen W., Sun L., Wang X. Functional Application of Noble Metal Nanoparticles In Situ Synthesized on Ramie Fibers // Nanoscale Research Letters. – 2015. – Vol. 10. – Art. 366. DOI: 10.1186/s11671-015-1074-1
8. Tang B., Sun L., Li J., Kaur J., Zhu H., Qin S., Yao Y., Chen W., Wang X. Functionalization of bamboo pulp fabrics with noble metal nanoparticles // Dyes and Pigments. – 2015. – Vol. 113. – P. 289-298. DOI: 10.1016/j.dyepig.2014.08.015
9. Rehan M., Mashaly H.M., Mowafi S., El-Kheir A., Emam H.E. Multi-functional textile design using in-situ Ag NPs incorporation into natural fabric matrix // Dyes and Pigments. – 2015. – Vol. 118. – P. 9-17. DOI: 10.1016/j.dyepig.2015.02.021
10. Jafari N., Karimi L., Mirjalili M., Derakhshan S.J. Effect of Silver Particle Size on Color and Antibacterial Properties of Silk and Cotton Fabrics // Fibers and Polymers. – 2016. – Vol. 17. – P. 888-895. DOI: 10.1007/s12221-016-6052-4
11. Abdukarimova M.Z., Nabiyeva I.A., Ismoilova G.X. To‘qimachilik mahsulotlarini pardozlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg‘ulotlar uchun o‘quv qo‘llanma [Textbook for laboratory and practical classes in the discipline “Chemical technology of textile finishing”]. – Tashkent: Tashkent Institute of Textile and Light Industry Printing House, 2015. – 364 p. [in Uzbek].
12. User manual. Computer color matching system operation and maintenance manual. – Korea Industrial Technology ODA, 2012. – 79 p.
13. Shashlov A.B., Uarova R.M., Churkin A.V. Osnovy svetotekhniki [Fundamentals of lighting engineering]: textbook for universities. – Moscow: Izd-vo MGUP, 2002. – 280 p. [in Russian].
14. Gorbunova E.V., Chertov A.N. Tipovye raschety po kolorimetrii istochnikov izlucheniya [Standard calculations for colorimetry of radiation sources]: study guide. – Saint Petersburg: Universitet ITMO, 2014. – 90 p. [in Russian].
15. Domasev M.V., Gnatyuk S.P. Tsvet, upravlenie tsvetom, tsvetovye raschety i izmereniya [Color, color management, color calculations and measurements]. – Saint Petersburg: Piter, 2009. – 224 p. [in Russian].
16. Prokhorova I.A., Chepelyuk E.V., Kobyl'skaya M.S., Sumskaya O.P. Razrabotka metodicheskogo podkhoda ucheta vliyaniya struktury sherstyanykh tkaney na intensivnost' okrasok [Development of a methodological approach to accounting for the influence of wool fabric structure on dyeing intensity] // Bulletin of KhNTU. Series “Technology of Light and Food Industry”. – 2015. – No. 1 (52). – P. 110-116 [in Russian].