

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРАШЕНИЯ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ ПРИРОДНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DYEING COTTON FABRICS WITH NATURAL DYES

УДК 677.027.4

Н.В. Скобова*, Н.Н. Ясинская, А.О. Кузнецова

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-115-124>

N. Skobova*, N. Yasinskaya, A. Kuznetsova

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ПРИРОДНЫЕ КРАСИТЕЛИ, СТЕПЕНЬ ЭКСТРАГИРОВАНИЯ, УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА, ДИФфуЗИЯ, КРАШЕНИЕ, ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫЕ ТКАНИ, ЭКОТЕКСТИЛЬ

В статье предложены способы повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями за счет увеличения степени экстрагирования красящего вещества из природного растительного сырья и облегчения диффузии красителя в структуру целлюлозного волокна. Проведены экспериментальные исследования технологии ультразвуковой обработки природного растительного сырья с целью повышения степени экстрагирования красящего вещества из рабочего раствора. Установлены зависимости оптической плотности красильных растворов от режимов ультразвуковой обработки. Показано, что фактором, влияющим на степень выхода красящего пигмента в раствор, является мощность генератора, продолжительность озвучивания слабо влияет на анализируемый параметр. Доказана эффективность предварительной ферментной подготовки хлопчатобумажных тканей с целью облегчения диффузии красящего вещества в целлюлозное волокно и повышения степени выщелачивания красителя из красильного раствора. Проведен сравнительный анализ окрашенных образцов тканей, полученных при мощности озвучивания природного растительного сырья 30 Вт в течение 20 мин, по показателю яркости и насыщенности цвета. Установлены оптимальные технологические режимы ультразвуковой обработки

ABSTRACT

NATURAL DYES, DEGREE OF EXTRACTION, ULTRASONIC TREATMENT, DIFFUSION, DYEING, COTTON FABRICS, ECOTEXTILE

The article suggests ways to increase the efficiency of dyeing cotton fabrics with natural dyes by increasing the degree of extraction of the coloring substance from natural plant raw materials and facilitating the diffusion of the dye into the structure of cellulose fiber. Experimental studies of the technology of ultrasonic processing of natural plant raw materials have been carried out in order to increase the degree of extraction of the coloring substance from the working solution. The dependences of the optical density of dye solutions on the modes of ultrasonic treatment are determined. It is shown that the generator power is a factor affecting the degree of output of the coloring pigment into the solution, the duration of voicing has little effect on the analyzed parameter. The effectiveness of the preliminary enzyme preparation of cotton fabrics has been proven in order to facilitate the diffusion of the coloring substance into the cellulose fiber and increase the degree of dye selection from the dye solution. A comparative analysis of colored tissue samples obtained with the sound power of natural plant raw materials of 30 W for 20 minutes, in terms of brightness and color saturation, was carried out. The optimal technological modes of ultrasonic processing of plant raw materials have been determined the generator power is no more than 60 watts, the duration of ultrasonic treatment is 20 minutes. A schematic diagram of the preparation and dyeing of cotton fabrics with natural

* E-mail: skobova-nv@mail.ru (N. Skobova)

растительного сырья – мощность генератора не более 60 Вт, продолжительность озвучивания 20 мин. Предложена принципиальная схема подготовки и крашения хлопчатобумажных тканей природными растительными красителями для создания высокоэкологичной текстильной продукции – экотекстиль.

plant dyes for the creation of highly environmentally friendly textile products – ecotextile – is proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Природные красители – это окрашенные органические соединения, получаемые посредством переработки природного сырья (растений и животных), а также микробиологическим способом (бактерии и грибы) [1]. В отличие от широко используемых синтетических красителей, природные имеют следующие преимущества: можно получать из дешёвого и доступного растительного сырья – из растений, а также из отходов пищевой, фармацевтической промышленности; не требуют при крашении сложного технологического оборудования; экологичность природных красителей, то есть способность к биоразложению, высокая совместимость с окружающей средой, более низкая токсичность и аллергические реакции; в отличие от синтетических красителей, представляющих собой однородные вещества, дающие строго определённый узкий спектр, растительные красители состоят из целого набора красящих веществ, дающих разнообразные цвета и оттенки в зависимости от вида протравы и среды крашения.

Наряду с достоинствами следует отметить и ряд недостатков природных красителей: для приготовления красильного раствора требуются большие объёмы растительного сырья, ограниченная цветовая гамма. Природными красителями обычно красят текстильные изделия из натуральных волокон – натуральный шелк, лен, хлопок и шерсть. Природные красители обладают пониженным сродством к любому волокну, и, как следствие этого, получаемая окраска быстро смывается, стирается, выгорает, то есть не имеет высоких показателей в процессе эксплуатации. Чтобы упрочнить окраску традиционно используют так называемые протравы – комплексные соли металлов, что не всегда экологически безопасно [2, 3, 11].

В настоящее время спрос на экотекстиль, а именно изделия из натуральных волокон, окрашенных природными красителями, возрастает, поэтому разработка способов повышения эффективности крашения является актуальной задачей исследований.

Цель данной работы заключается в разработке способов повышения эффективности процесса крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- увеличить степень экстрагирования красящего вещества из природного растительного сырья;
- облегчить диффузию красителя в структуру целлюлозного волокна, повысить степень выщелачивания красителя из красильной ванны.

Основными факторами, влияющими на полноту и скорость экстрагирования являются поверхность раздела фаз «твёрдое растительное сырьё – жидкость», которая зависит от степени измельчения сырья и будет тем больше, чем меньше частицы; продолжительность экстрагирования, учитывая, что количество вещества прямо пропорционально времени экстракции; температура, так как подогрев ускоряет процесс экстрагирования для водных извлечений.

Однако при слишком тонком измельчении традиционными способами резко увеличивается степень вымывания сопутствующих веществ из растительного сырья (белки, пектины и др.), что загрязняет вытяжку красильного раствора, а также в экстрагент переходит большое количество взвешенных частиц, красильный раствор получается мутным. Что касается продолжительности экстрагирования, необходимо стремиться к максимальной полноте извлечения в кратчайший срок, максимально используя все прочие факторы, ведущие к интенсификации процесса.

Повышение температуры целесообразно для нетермолабильного растительного сырья. Рациональным решением задачи повышения степени экстрагирования является ультразвуковая интенсификация процесса [7, 8, 9]. Воздействие ультразвуковых волн нарушает пограничный диффузионный слой, улучшается проникновение экстрагента в материал. В результате сырьё набухает гораздо быстрее, возникают турбулентные и вихревые потоки, способствующие переносу масс, растворению веществ. Происходит интенсивное перемешивание содержимого внутри клетки, что значительно ускоряет процесс перехода действующих веществ из сырья в экстрагент [4, 5].

Традиционно для ускорения скорости диффузии красителя в волокно используют пластифицирующие добавки, либо повышают температуру красильного раствора [6]. В данной работе предлагается использовать при подготовке цел-

люлозных материалов к крашению обработку ферментными препаратами, которые разрыхляют структуру волокна и увеличивают доступность его активных центров для красящих веществ, повышается сорбционная способность.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является природный краситель, полученный из растительного сырья – соцветия пижмы; хлопчатобумажная ткань поверхностной плотностью 140 г/м^2 .

Предмет исследования – технологический процесс ультразвуковой подготовки растительного сырья и крашение хлопчатобумажной ткани природными красителями периодическим способом.

Технологическая схема процесса крашения текстильного материала природным красителем по классической и разработанной технологии представлена на рисунке 1.

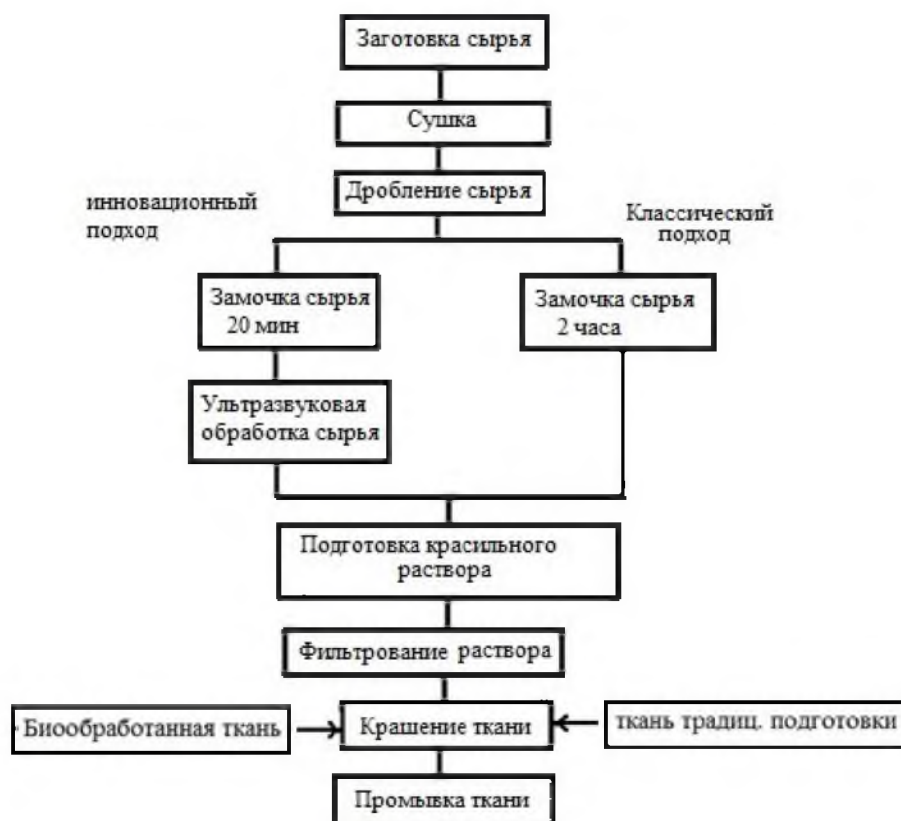


Рисунок 1 – Технология крашения целлюлозных материалов природными красителями

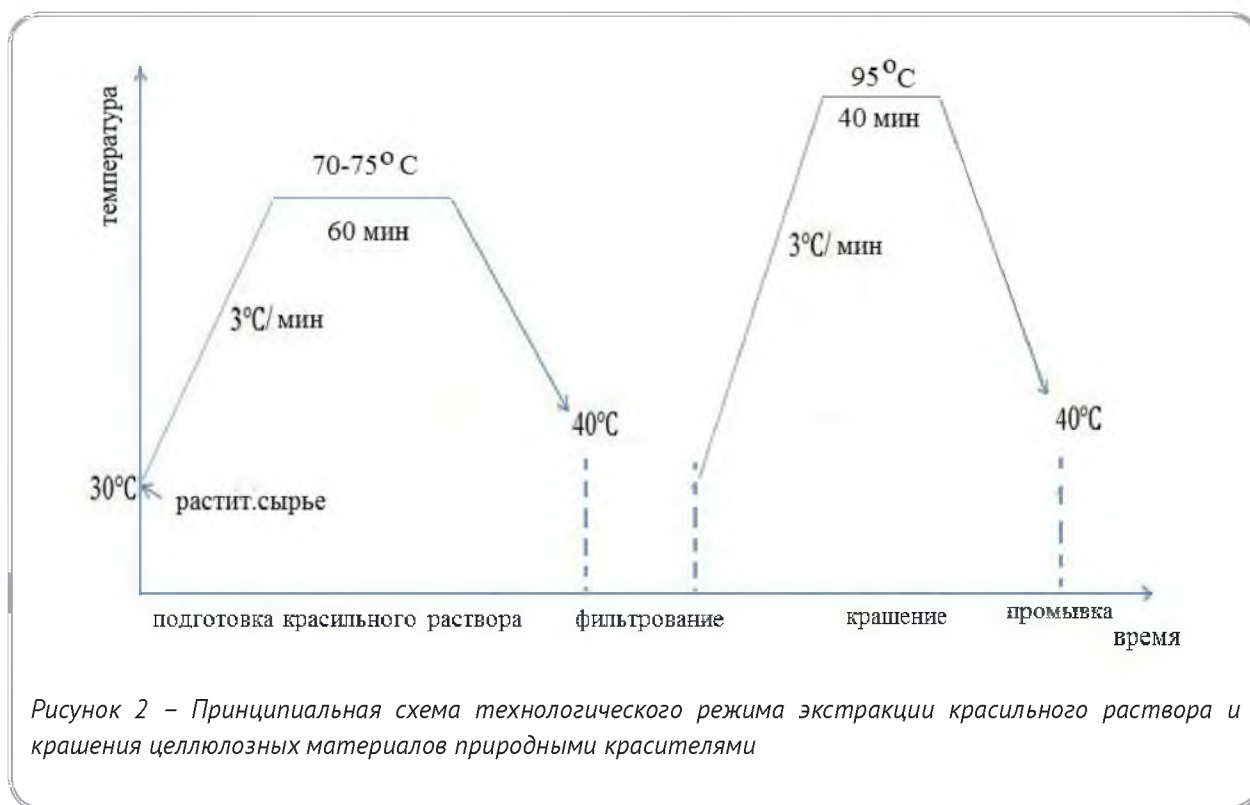
Технология подготовки растительного сырья заключалась в следующем. Соцветия пижмы собирались ручным способом в сухую погоду в июле месяце. Перед сушкой сырье рассортировано, удалены почерневшие цветки. Сушка соцветий происходила естественным способом, в темном, хорошо проветриваемом помещении, периодически перемешивая, в течение первых трех суток – три раза в день, в последующие – один раз. Время сушки на воздухе – 7–10 дней. Высушенное сырье подвергали дроблению на лабораторной дробильной установке.

Подготовка сырья к экстрагированию проходила по двум технологиям: классической с замачиванием сухого сырья в течение 2 часов при комнатной температуре и ультразвуковой – способ подготовки: предварительное замачивания сухого сырья на 20 минут в воде при температуре 40 °С с последующим озвучиванием гетерогенной системы «растительное сырье – вода» в ультразвуковой ванне.

Принципиальная схема технологических режимов экстракции водного красильного раствора и процесса крашения представлены на рисунке 2. Экстрагирование проводилось на водяной бане.

Технология подготовки хлопчатобумажной ткани для крашения проходила двумя способами: щелочная отварка (классическая) и биотварка с использованием ферментной композиции на базе Энзитекс ЦКО (ООО «ФЕРМЕНТ» Республика Беларусь). Материал проходил биотварку при температуре 60 °С, $pH = 5$, концентрация препарата 3 % от массы материала. Технологические режимы обработки материала описаны авторами статьи в работе [12].

Для определения степени экстракции красящего вещества из растительного сырья, а также степени выбирания красителя из красильной ванны использован спектрофотометрический анализ. Оптическая плотность красильных растворов определялась на спектрофотометре Solar PB220, предназначенном для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания, оптической плотности в прозрачных жидких растворах и определения концентрации веществ в спектральном диапазоне 190... 1100 нм при длине волны, соответствующей максимуму светопоглощения красителя [10].



ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведены экспериментальные исследования по выбору оптимальных технологических режимов ультразвуковой обработки растительного сырья для повышения выхода красящего пигмента в красильный раствор.

Озвучивание соцветий пижмы проводили с использованием лабораторной ультразвуковой ванны УЗВ-1,3/2 ЗАО НПО «Техноком», имеющей следующие технические характеристики: мощность ультразвукового генератора – до 100 **Вт**, частота колебаний ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей – 35 **кГц**, температура среды в ванне, регулируемая датчиком температуры, – до 100 °С.

В качестве входных факторов выбраны регулируемые параметры настройки ванны (таблица 1). Для оценки эффективности применения кавитационного воздействия на растительное

сырье на этапе подготовки выходными параметрами выбраны:

– оптическая плотность красильного раствора из ванны после процесса экстракции, качественно отражающая выход красящего пигмента в экстракт;

– оптическая плотность красильного раствора из ванны после процесса крашения, качественно отражающая выбираемость красителя волокном.

Проведен двухфакторный эксперимент по D-оптимальной матрице 3^2 с двумя повторностями.

На первом этапе эксперимента до процесса крашения материала из красильной ванны взяты пробы раствора, полученного при подготовке сырья по классической технологии, и пробы раствора при подготовке сырья при различных режимах озвучивания. Проведен спектрофотометрический анализ полученных растворов, результаты которого представлены на рисунке 3.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Факторы	Уровни варьирования		
	-1	0	+1
Мощность генератора, Вт (<i>W</i>)	30	60	90
Время озвучивания, мин (<i>T</i>)	20	30	40

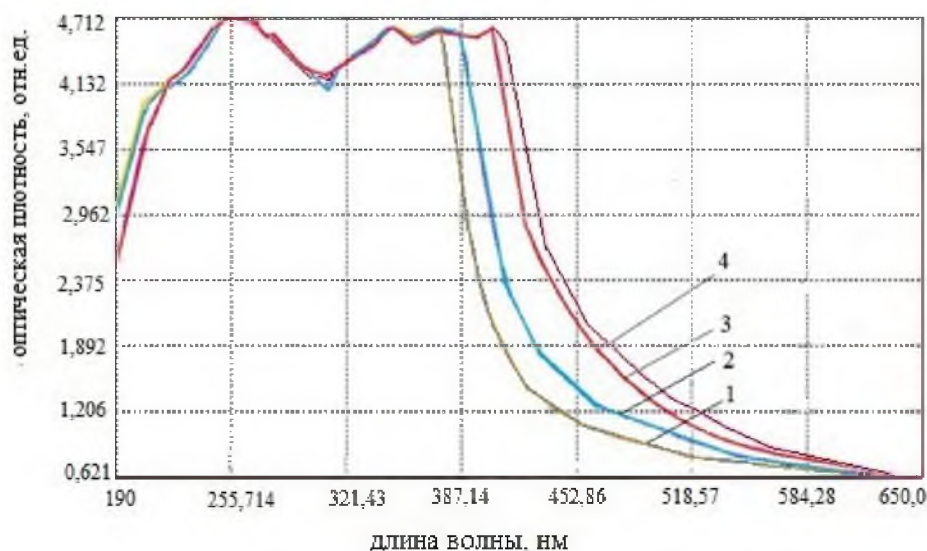


Рисунок 3 – Спектрограмма водного раствора соцветий пижмы (раствор сравнения дистиллированная вода): 1 – классическая технология; 2 – мощность генератора 30 **Вт**; 3 – мощность генератора 60 **Вт**; 4 – мощность генератора 90 **Вт**

На спектрограмме в качестве примера приведен результат исследований при фиксированном времени озвучивания 20 минут.

Спектрограмма имеет двухволновой спектр: область максимума поглощения для всех образцов приходится на длину волны 255 нм (коротковолновый максимум) и 350–370 нм (длинноволновый максимум). На этих длинах волн проявляются флавонолы – широко распространенная группа флавоноидов, имеющих, как правило, желтую или желто-зеленую окраску [5]. Ультразвуковая обработка сырья при мощности волны от 60 Вт и выше способствовала смещению длинноволнового максимума до уровня 406 нм, это флавоноиды группы ауруны (380–430 нм), халконы (340–390 нм), растворы приобрели более темные оттенки. Становится очевидным, что введение этапа озвучивания сырья в процессе его подготовки является эффективным.

В результате обработки экспериментальных данных с помощью прикладной программы Statistica for Windows разработаны регрессионные модели зависимости оптической плотности красильного раствора до крашения от технологических режимов озвучивания растительного сырья:

– на длине волны 255 нм

$$D_{255} = 4,662 - 0,024 \cdot W + 0,003 \cdot W \cdot T + 0,029 \cdot W^2; \quad (1)$$

– на длине волны 405 нм

$$D_{405} = 4,544 - 0,046 \cdot W + 0,028 \cdot W^2 \cdot T + 0,057 \cdot W^2; \quad (2)$$

Для оценки статистической значимости разработанных моделей проведен дисперсионный анализ. В таблице 2 для разработанных уравнений представлена сумма квадратов отклонений регрессии, критерий Фишера (F-value), значение которого для всех рассмотренных моделей значительно больше критического при уровне значимости $p < 0,05$, что указывает на достоверность разработанных моделей.

Анализ уравнений показывает, что влияющим фактором на степень выхода красящего пигмента в раствор является мощность генератора, продолжительность озвучивания слабо влияет на анализируемый параметр.

На втором этапе исследований взяты пробы красильного раствора из красильной ванны после процесса крашения тканей, подготовленных по традиционной технологии (щелочная отварка) и после биоотварки. Проведен спектрофотометрический анализ взятых проб, по результатам которого разработаны регрессионные модели зависимости оптической плотности красильного раствора после крашения от технологических режимов озвучивания растительного:

– после крашения ткани, предварительно прошедшей щелочную отварку

$$D_{прошлой} = 4,655 - 0,026 \cdot W + 0,034 \cdot W^2 + 0,007 \cdot T^2; \quad (3)$$

– после крашения биоподготовленной ткани

$$D_{био} = 4,659 - 0,025 \cdot W + 0,008 \cdot T + 0,034 \cdot W^2 + 0,008 \cdot W^2 \cdot T; \quad (4)$$

Таблица 2 – Оценка значимости разработанных моделей

Эффект (Effect)	Сумма квадратов отклонений регрессий (Sum of Squares)	Критерий Фишера (F-value)	Уровень значимости (p-value)
Регрессия для модели (1)	197,2382	166324,88	0,000000
Регрессия для модели (2)	188,9562	136548	0,000000
Регрессия для модели (3)	197,3058	652850,1	0,000000
Регрессия для модели (4)	197,2775	560314,9	0,000000

Адекватность разработанных моделей подтверждается результатом дисперсионного анализа, представленным в таблице 2.

По моделям (3) и (4) построены графические образы полученных зависимостей, совместив которые, можно определить оптимальные технологические режимы ультразвуковой ванны при обработке соцветий пижмы.

Анализ совмещенного графика (рисунок 4) показывает, что красильный раствор после крашения биообработанной ткани менее насыщенный, что указывает на лучшую выбираемость красителя волокном. В качестве рациональных параметров озвучивания растительного сырья можно рекомендовать мощность генератора 30–60 Вт, время озвучивания существенного влияния на процесс не оказывает, поэтому исхо-

дя из экономических соображений рекомендуется 20 минут.

Проведен сравнительный анализ окрашенных образцов тканей, полученных при мощности озвучивания сырья 30 Вт в течение 20 мин, по показателю яркости и насыщенности цвета с использованием online сервиса color hex (таблица 3). Применение данного сервиса не является точным методом сравнения, однако он позволяет установить, имеются ли различия между сравниваемыми образцами тканей. По полученным данным видно, что биообработанная ткань имеет переход цвета в другие координаты цветности $R = 223, G = 210, B = 168$ (традиционная ткань имеет координаты $R = 169, G = 183, B = 140$), ткань приобрела более насыщенный цвет и яркость.

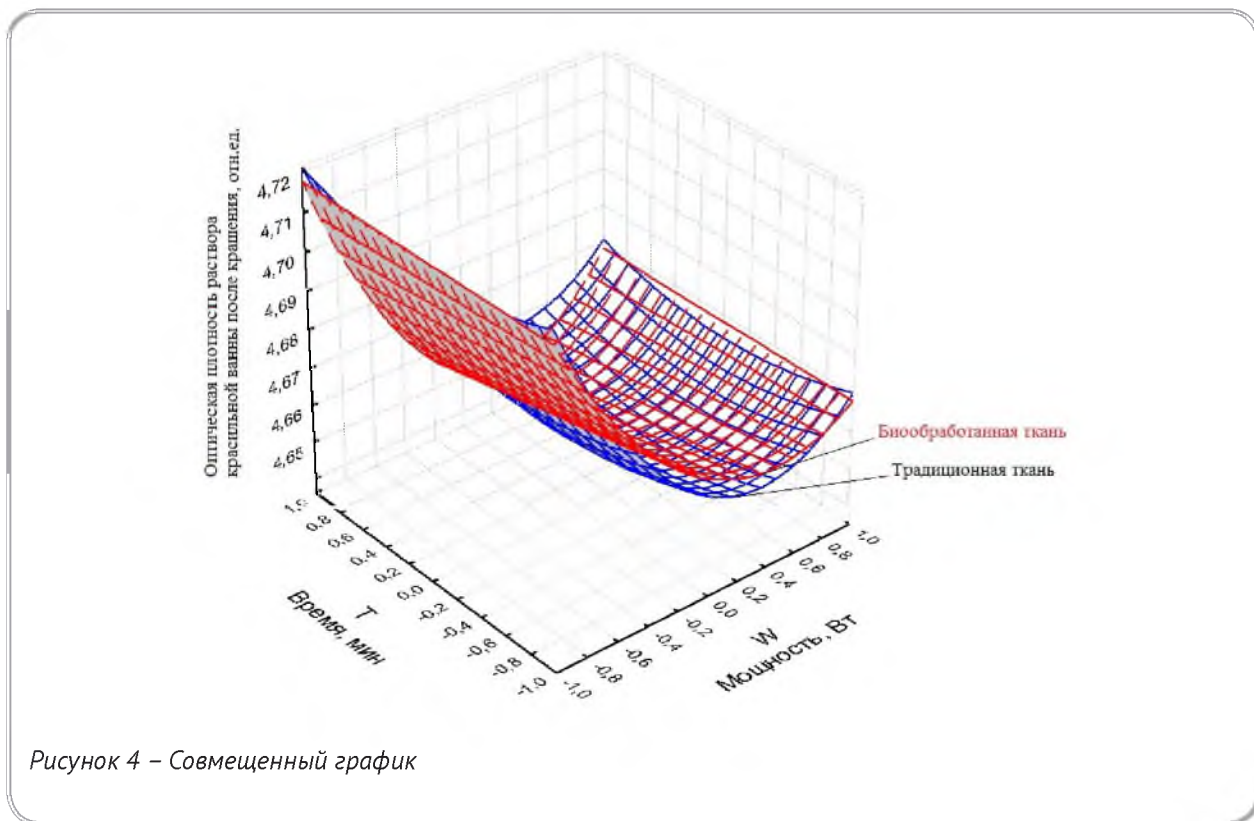


Рисунок 4 – Совмещенный график

Таблица 3 – Результаты сканирования оттенка полученных образцов

Традиционная подготовка ткани			Биоподготовка ткани		
RGB	Яркость цвета	Насыщенность цвета	RGB	Яркость цвета	Насыщенность цвета
169/183/140	0,66	0,32	223/210/168	0,77	0,46

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено:

- ультразвуковая обработка растительного сырья способствует повышению степени экстрагирования красящих веществ из природного растительного сырья;
- оптимальными технологическими режимами озвучивания растительного сырья являются мощность генератора не более 60 **Вт**, время озвучивания 20 **мин**;
- предварительная обработка текстильного материала ферментными препаратами – биоотварка – облегчает диффузию красителя в волокно и повышает степень выщирания красителя из красильной ванны;
- применение ферментной обработки текстильного материала способствует получению более насыщенных оттенков на ткани.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Калинин, Ю. А., Вашурина, И. Ю. (2002), Природные красители и вспомогательные вещества в химико-текстильных технологиях – реальный путь повышения экологической чистоты и эффективности производства текстильных материалов, *Российский химический журнал*, 2002, № 1, С. 77–87.
2. Dr. Sukalyan Sengupta, Dr. Bal Ram Singh (2006), Natural, "Green" Dyes for the Textile Industry, 2006, available at: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/951/natural-green-dyes-for-the-textile-industry> (accessed 25 March 2022).
3. Reazuddin Repon, M. Tauhidul Islam, Abdullah Al Mamun, Muhammad Abdur Rashid (2018), Comparative study on natural and reactive dye for cotton coloration, *Journal of applied research and technology. Versión On-line ISSN 2448-6736*, 2018, vol. 16, № 3, available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-64232018000300160

REFERENCES

1. Kalinnikov, Yu. A., Vashurina, I. Yu. (2002), Natural dyes and accessory in chemical-textile technologies – a real way to improve the environmental friendliness and efficiency of the production of textile materials [Prirodnye krasiteli i vspomogatel'nye veshchestva v himiko-tekstil'nyh tehnologijah – real'nyj put' povyshe-nija jekologicheskoy chistoty i jeffektivnosti proizvodstva tekstil'nyh materialov], *Russian Chemical Journal*, 2002, № 1, P. 77–87.
2. Dr. Sukalyan Sengupta, Dr. Bal Ram Singh (2006), Natural, "Green" Dyes for the Textile Industry, 2006, available at: <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/951/natural-green-dyes-for-the-textile-industry>.
3. Reazuddin Repon, M. Tauhidul Islam, Abdullah Al Mamun, Muhammad Abdur Rashid (2018), Comparative study on natural and reactive dye for cotton coloration, *Journal of applied research and technology. Versión On-line ISSN 2448-6736*, 2018, vol. 16, № 3, available at:

- (accessed 21 March 2022).
4. Молчанов, Г. И. (1980), *Ультразвук в фармации*, Москва, 176 с.
 5. Подолина, Е. А., Ханина, М. А., Рудаков, О. Б., Небольсин, А. Е. (2018), Ультразвуковая экстракция и УФ-спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов и дубильных веществ в надземной части василька синего, *Вестник ВГУ*, 2018, № 2, С. 28–33, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-04.pdf>. – Дата доступа: 31.03.2022.
 6. Кричевский, Г. Е. (2001), *Химическая технология текстильных материалов*, Т. 2, Москва, 540 с.
 7. Хмелев, В. Н., Хмелев, С. С., Голых, Р. Н., Барсуков, Р. В. (2010), Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидких сред, *Ползуновский вестник*, Барнаул, 2010, № 3, С. 321–325.
 8. Кульнев, А. О., Жерносек, С. В., Ясинская, Н. Н., Ольшанский, В. И., Коган, А. Г. (2017), Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2017, № 1(32), С. 155–163.
 9. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н., Козодой, Т. С. (2018), Интенсификация процесса крашения шерстяных волокон, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 1(34), С. 103–108.
 10. Wei Zhang, Xin Wang, Jiali Weng, Xinwei Liu, Shaoxuan Qin, Xiaoyan Li, Jixian Gong (2021), Eco-dyeing and functional finishing of wool fabric based on *Portulaca oleracea* L. as colorant and *Musa basjoo* as natural mordant, *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, 15, 103624, available at: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103624> (accessed 27 March 2022).
 - http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-64232018000300160.
 4. Molchanov, G. I. (1980), *Ul'trazvuk v farmacii* [Ultrasound in pharmacy], Moscow, 176 p.
 5. Podolina, E. A., Khanina, M. A., Rudakov, O. B., Nebolsin, A. E. (2018), Ultrasonic extraction and UV spectrophotometric determination of the amount of flavonoids and tannins in the aerial part of blue cornflower [Ul'trazvukovaja jekstrakcija i UF-spektofotometricheskoe opredelenie summy flavonoidov i dubil'nyh veshhestv v nadzemnoj chasti vasil'ka sinego], *Vestnik VSU*, 2018, № 2, P. 28–33, available at: <http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-04.pdf>. (access: 31.03.2022).
 6. Krichevsky, G. E. (2001), *Himicheskaja tehnologija tekstil'nyh materialov* [Chemical technology of textile materials], Т. 2, Moscow, 540 p.
 7. Khmelev, V. N., Khmelev, S. S., Golykh, R. N., Barsukov, R. V. (2010), Improving the efficiency of ultrasonic cavitation treatment of viscous and dispersed liquid media [Povyshenie jeffektivnosti ul'trazvukovoj kavitacionnoj obrabotki vjazkih i dispersnyh zhidkih sred], *Polzunovskij vestnik – Polzunovskiy vestnik*, Barnaul, 2010, № 3, pp. 321–325.
 8. Kulnev, A. O., Zhernosek, S. V., Yasinskaya, N. N., Olshansky, V. I., Kogan, A. G. (2017), Dyeing of textile materials from polyester fibers using ultrasonic treatment [Krashenie tekstil'nyh materialov iz polijefirnyh volokon s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo vozdejstvija], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2017, № 1 (32), pp. 155–163.
 9. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N., Kozodoy, T. S. (2018), Intensification of the process of dyeing wool fibers [Intensifikacija processa krashenija sherstjanyh volokon], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta –*

11. Geetha B and V. Judia Harriet Sumathy (2013), Extraction of Natural Dyes from Plants, *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2013, Vol. 1(8), available at: <https://www.researchgate.net/publication/329058662> (accessed 5 March 2022).
12. Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2018), Применение ферментных препаратов для подготовки хлопчатобумажных и смесовых тканей, *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, 2018, Т. 40, № 2, С. 58–62.
10. Wei Zhang, Xin Wang, Jiali Weng, Xinwei Liu, Shaoxuan Qin, Xiaoyan Li, Jixian Gong (2021), Eco-dyeing and functional finishing of wool fabric based on *Portulaca oleracea* L. as colorant and *Musa basjoo* as natural mordant, *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, 15, 103624, available at: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103624>.
11. Geetha B and V. Judia Harriet Sumathy (2013), Extraction of Natural Dyes from Plants, *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2013, Vol. 1(8), available at: <https://www.researchgate.net/publication/329058662> (accessed 5 March 2022).
12. Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2018), The use of enzyme preparations for the preparation of cotton and blended fabrics [Primenenie fermentnyh preparatov dlja podgotovki hlopchatobumazhnyh i smesovyh tkanej], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija legkoj promyshlennosti – News of higher educational institutions. Light industry technology*, 2018, Vol. 40, № 2, pp. 58–62.

Статья поступила в редакцию 05. 04. 2022 г.