

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ПРИМЕСЕЙ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА
ПОСЛЕ БИОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ К КРАШЕНИЮ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛИФЕРМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ***

**STUDY OF COTTON FIBER IMPURITIES CONTENT
AFTER BIOCHEMICAL PREPARATION FOR DYING
USING POLY-ENZYME COMPOSITIONS**

К.А. ЛЕНЬКО, Н.Н. ЯСИНСКАЯ

K.A. LENKO, N.N. YASINSKAYA

(Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь)

(Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus)

E-mail: kotya240497@mail.ru, yasinskaynn@rambler.ru

Наличие сопутствующих веществ хлопкового волокна препятствует проникновению химических реагентов, красителей и отделочных препаратов вглубь волокна в процессе отделки текстильных материалов. Сложность состава, химическая неоднородность компонентов хлопкового волокна обуславливают разнообразие методов его очистки, главной целью которой является придание волокну устойчивой и равномерной сорбционной способности. Проведены исследования по разработке технологии отварки хлопчатобумажных тканей с использованием полиферментных композиций белорусского производства. В результате отварки достигается максимальная очистка хлопчатобумажной ткани от сопутствующих примесей при минимальном повреждении волокнообразующего полимера. Для определения эффективности отварки устанавливали содержание в хлопковом волокне воскообразных и жирowych веществ, пектиновых веществ, степень суммарной очистки ткани от сопутствующих веществ, степень повреждения целлюлозы. Доказано, что для достижения требуемой степени очистки от примесей и максимальной смачиваемости целесообразно применять совмещенные биохимические способы подготовки, состоящие из последовательной обработки ферментными препаратами и варочным раствором традиционной щелочной отварки при низких концентрациях его составных компонентов.

The presence of accompanying substances of cotton fiber prevents the penetration of chemical reagents, dyes and finishing agents deep into the fiber in the process of finishing textile materials. The complexity of the composition, the chemical heterogeneity of the components of cotton fiber determines the variety of cleaning methods, the main purpose of which is to give the fiber a stable and uniform sorption capacity. Research has been carried out on the development of technologies for the scouring of cotton fabrics with polyenzymatic compositions of Belarusian production. As a result of scouring an extensive cleaning of cotton fabric is found, which is detached when the fiber-forming polymer is significantly damaged. To determine the effectiveness of scouring, the content of wax and fat in cotton fiber, pectin, the

* Работа финансировалась в рамках выполнения задания Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект № T22УЗБ-062.

degree of purification from impurities, the degree of destruction of cellulose were detected. It has been established that in order to achieve the required degree of purification from impurities and high wettability, it is necessary to apply combined biochemical technologies, consisting of sequential treatment with enzyme preparations and alkalinity solution with a low content of its constituent components.

Ключевые слова: биообработка, примеси хлопкового волокна, воскообразные вещества, пектиновые вещества, степень повреждения целлюлозы, целлюлаза, пектиназа, капиллярность.

Keywords: bioprocessing, accompanying impurities, waxy substances, pectin substances, degree of damage to cellulose, cellulase, pectinase, capillarity.

Введение

В суровом виде ткани содержат многочисленные загрязнения и примеси, к которым относятся природные примеси в волокнах, технологические препараты, наносимые на волокна и пряжу на предшествующих механических стадиях текстильного производства, а также случайные загрязнения [1]. Состав и общее содержание примесей зависят от природы волокон, и может составлять до нескольких десятков процентов от общей массы материала. Природные примеси содержатся в структуре природных волокон или на их внешней поверхности. Геометрия расположения примесей в совокупности с их природой диктует стратегию и тактику их удаления. Удаление загрязнений из структуры элементарных волокон при прочих равных условиях значительно сложнее, чем с внешней поверхности пряжи и нитей [1].

Среди разнообразных целлюлозных волокон широчайшее применение имеют хлопковые, которые выгодно отличаются от других своими физико-механическими свойствами, обусловленными особенностями строения и морфологии, а также наличием сопутствующих веществ [2]. Известно, что зрелое хлопковое волокно содержит: 88...96% целлюлозы, 0,7...1,2% пектиновых веществ, 1,1...1,9% белковых веществ, 0,4...1,3% воскообразных веществ, 0,7...1,6% зольных-минеральных веществ, 0,5...0,9% остальных веществ [1].

Наличие сопутствующих целлюлозе веществ оказывает влияние на технологические свойства текстильных материалов. Они заполняют и перекрывают имеющиеся

в волокне поры и капилляры, что препятствует проникновению химических реагентов, красителей и отделочных препаратов вглубь волокна в процессе отделки материалов [1]. Сложность состава, химическая неоднородность компонентов хлопкового волокна обуславливает разнообразие методов его очистки, главной целью которой является придание волокну устойчивой и равномерной сорбционной способности.

В результате традиционной щелочной отварки пектиновые вещества переходят в растворимые соединения и полностью удаляются с волокна в результате гидролиза. Азотсодержащие белковые вещества гидролизуются, образуя аминокислоты, которые с гидроксидом натрия дают растворимые в воде соли. Около 40% воскообразных веществ (жирные кислоты) омыляется с образованием натриевых солей жирных кислот. Остальные воскообразные вещества удаляются эмульгированием с помощью ПАВ [3]. Для успешного протекания процесса эмульгирования необходим перевод воскообразных веществ в расплавленное состояние. Температура плавления воскообразных веществ 80°C, поэтому температура отварки должна быть выше [3].

В таких условиях возникает неизбежное окисление целлюлозы: образуются микро- и макрорадикалы, происходит разрыв пирановых циклов и глюкозидных связей, образуется смесь окси- и гидроцеллюлозы [1]. В результате окисления происходит деструкция целлюлозных материалов, которая выражается в снижении степени полимеризации, и, как следствие, ухудшении физико-механических и других потре-

бительских свойств [4]. Кроме того, при щелочной отварке значительная часть реагентов удаляется при промывке и попадает в сточные воды и в атмосферу, нанося огромный ущерб окружающей среде.

В последние десятилетия активизировались исследования в направлении способов подготовки текстильных материалов из целлюлозных волокон с использованием ферментных препаратов, проявляющих активность при низких температурах и в нейтральных средах [5...8]. Так, наиболее часто используемым препаратом в технологиях отварки является фермент целлюлаза, вызывающая разрушение целлюлозы во внешних слоях волокна на участках с наименьшей упорядоченностью молекул [9].

Ферментные препараты способствуют удалению из волокна нецеллюлозных примесей, изменению фрикционных и механических свойств, повышению гигроскопичности и сорбционной способности. Отличием отварки с использованием ферментных препаратов является проведение технологического процесса при температуре 50...60°C, при этом удаление воскообразных примесей осуществляется за счет частичного гидролиза целлюлозы первичной стенки и разрушения кутикулы [4]. В то же время удаление восков при ферментной отварке в отличие от технологии удаления восков при щелочной отварке ($t=100^{\circ}\text{C}$) в основном осуществляется за счет введения ПАВ в рабочую ванну и введения дополнительного гидродинамического воздействия [3].

Однако, согласно изученным литературным источникам [3], [10], не все сопутствующие примеси хлопкового волокна возможно удалить в процессе биоотварки композицией ферментных препаратов. В частности, наибольшую трудность представляет удаление ферментами белковой части азотсодержащих веществ. Они могут быть извлечены только после их разрушения под действием горячих растворов щелочей или щелочных растворов гипохлорита натрия, или в присутствии силиката натрия [3].

В связи с этим актуальной является задача разработки комплексных технологий обработки хлопчатобумажных материалов, включающих этапы биоотварки и щелоч-

ной отварки (с сокращением концентрации NaOH в варочном растворе), позволяющих минимизировать агрессивное воздействие химических препаратов на целлюлозу, а также повысить экологичность технологий отделки.

В течение нескольких лет авторами ведутся работы по биохимической обработке текстильных материалов из целлюлозных волокон. В том числе разработаны эффективные биотехнологии отварки хлопчатобумажных и льняных тканей, проведены многочисленные исследования по подбору оптимальных схем обработки и композиций варочных растворов, в ходе которых доказана эффективность биоотварки ферментами белорусского производства (ООО "Фермент") по показателю капиллярности [10].

Целью работы является разработка технологии отварки хлопчатобумажных тканей с использованием новых составов полиферментных композиций белорусского производства, в результате которой достигается максимальная очистка хлопчатобумажной ткани от сопутствующих примесей при минимальном повреждении волокнообразующего полимера.

<u>Щелочная отварка</u>	<u>Биоотварка (режим 1)</u>	<u>Биоотварка (режим 2)</u>	<u>Щелочная отварка+биоотварка</u>
<u>Замачивание ткани в растворе, содержащем, г/л:</u> Гидроксид натрия – 10; силикат натрия (плотность 1,44) – 33; ПАВ – 0,3; гидросульфат натрия (38%-ный) – 3-5.	<u>Замачивание ткани в растворе, содержащем, г/л:</u> ПАВ – 3 г/л; Энзитекс ЦКО – 2,5 г/л; Энзитекс Био-К – 2,5 г/л; Энзитекс АТС – 2 г/л; уксусная кислота до pH=4-5.	<u>Замачивание ткани в растворе, содержащем, г/л:</u> ПАВ – 3 г/л; Энзитекс ЦКО – 1,5 г/л; Энзитекс Био-К – 3 г/л; Энзитекс АТС – 2 г/л; уксусная кислота до pH=4-5.	<u>Замачивание ткани в растворе, содержащем, г/л:</u> Энзитекс ЦКО – 1,5 г/л; Энзитекс Био-К – 3 г/л; Энзитекс АТС – 2 г/л; уксусная кислота до pH=4-5.
↓	↓	↓	↓
<u>Отварка ткани:</u> Модуль ванны – 50; Продолжительность τ – 2 ч; Температура раствора t – 100°C.	<u>Отварка ткани:</u> Модуль ванны – 50; Продолжительность τ – 1 ч; Температура раствора t – 50°C.	<u>Отварка ткани:</u> Модуль ванны – 50; Продолжительность τ – 1 ч; Температура раствора t – 50°C.	<u>Отварка ткани:</u> Модуль ванны – 50; Продолжительность τ – 30 мин. Температура раствора t – 50°C.
↓	↓	↓	↓
<u>Промывка горячей и холодной водой</u>	<u>Промывка горячей и холодной водой</u>	<u>Промывка горячей и холодной водой</u>	<u>Промывка горячей и холодной водой</u>

Рис. 1

Объекты и методы исследования

Объект исследования – суровая хлопчатобумажная ткань полотняного переплетения (ОАО "Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение") поверхностной плотностью 120 г/м². Проведена отварка данной ткани по четырем тех-

нологиям (рис. 1 – схемы обработки хлопчатобумажных тканей).

В качестве ферментных препаратов в исследовании применяли препараты белорусского производителя – фирма ООО "Фермент". Характеристики используемых препаратов представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Название препарата	Характеристики
Энзитекс ЦКО	Кислая целлюлаза, активность 10000 ед/г, оптимальные условия действия рН от 4,5 до 5,5, рабочая температура 30...70°C
Энзитекс Био-К	Кислая пектиназа, активность 6500 ед/г, оптимальные условия действия рН от 3,0 до 4,5, рабочая температура 40...60°C
Энзитекс АТС	Бактериальная α-амилаза, активность 10000 ед/г, оптимальные условия действия рН от 5,5 до 6,5, рабочая температура 40...90°C

Для определения эффективности отварки устанавливали содержание в хлопковом волокне воскообразных и жировых веществ, пектиновых веществ, степень суммарной очистки ткани от сопутствующих веществ, степень повреждения целлюлозы.

Для определения воскообразных и жировых веществ хлопкового волокна применялся метод экстрагирования их спирто-бензольным реактивом (1:1) в аппарате Сокслета [4]. После высушивания материала до постоянной массы при t=90°C и охлаждения в эксикаторе его взвешивали с точностью до 0,001 и рассчитывали содержание жировосков (%) по формуле:

$$x = \frac{m_1 \cdot 100}{m_2 \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

Пектиновые вещества извлекали 1%-ным раствором лимонно-кислого аммония с последующим спектрофотометрическим измерением на спектрофотометре РВ 2201, предназначенном для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания, оптической плотности в прозрачных жидких растворах и твердых образцах и определения концентрации веществ в спектральном диапазоне 190...1100 нм. Измерения проводили при длине волны 360, 390, 530 и 630 нм с последующим расчетом количественного содержания полисахаридов, входящих в состав пектиновых веществ (гексозанов, пентозанов, полиуронидов, фур-

фуурола), а также расчетом количественного содержания пектиновых веществ [4].

Степень суммарной очистки ткани от сопутствующих веществ определяли спектрофотометрически по мутности сернокислых растворов целлюлозы, которую характеризуют посредством оптической плотности [3].

Степень повреждения целлюлозы хлопкового волокна определяли по величине относительной вязкости ($\eta_{уд}$) 0,1% медно-аммиачных растворов целлюлозы с использованием ротационного вискозиметра Lamy Rheology RM100 PLUS [3].

Результаты и обсуждения

Воскообразные примеси в хлопке локализованы в периферийной части (кутикула и первичная стенка) волокна [1]. Основу восков составляют углеводороды, жирные кислоты и их эфиры, а также высокомолекулярные спирты. Одним из важных условий очистки целлюлозного волокна от воскообразных соединений является перевод их в расплавленное или размягченное состояние [11]. В щелочной среде омыляется до 37% воскообразных примесей хлопка, остальная часть может быть удалена только эмульгированием или растворением в неполярных органических растворителях [1].

Формируя технологию подготовки текстильных материалов из природных растительных волокон, следует учитывать, что определенную часть воскообразных примесей желательнее оставлять на волокне, по-

сколькx они улучшают упругоэластические свойства волокон и повышают потребительские (физико-механические) свойства текстильного материала. Известно, что уменьшение содержания воскообразных примесей до 0,11% и ниже приводит к потере прочности на раздирание на 30% [1].

Щелочная отварка способствует удалению 0,185% экстрактивных веществ хлопка, в то время как биоотварка выделяет около 0,546% воскообразных и жировых примесей (рис. 2 – гистограмма содержания экстрагируемых (воскообразных и жировых) веществ хлопчатобумажных тканей в спирто-бензольной смеси).

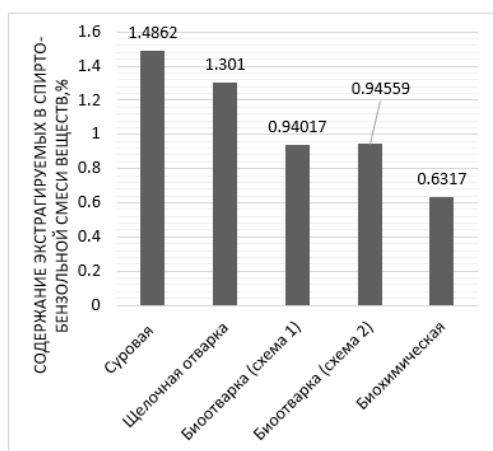


Рис. 2

Наименьший процент содержания жировосков демонстрирует образец, прошедший совмещенную биохимическую обработку, включающую в себя проведение последовательно ферментной и традиционной щелочной отварки. Данная закономерность подтверждается результатами исследований, представленными в работе [11], согласно которым удаление восков при ферментной отварке в основном осуществляется за счет введения в рабочую ванну ПАВ и введения дополнительного гидродинамического (механического) воздействия. Благодаря частичному разрушению первичной стенки хлопкового волокна и разрыхлению его структуры ферментами происходит более полная сорбция ПАВ в поверхностных структурах поврежденного волокна, что позволяет удалить наибольшее количество жировых веществ путем эмульгирования.

Пектиновые вещества являются одними из основных спутников целлюлозы. Эта группа сложных по составу углеводов, состоящих из полигалактуроновой кислоты. В хлопке пектиновые вещества сосредоточены в кутикуле и в первичной стенке (37%). Они могут быть связаны в комплекс с воскообразными и с самой целлюлозой, что затрудняет их удаление из волокна [1].

Пектин может извлекаться из целлюлозного волокна различными методами. За счет гидролитической деструкции гликозидных связей большая часть пектиновых веществ растворяется в растворах щелочей и кислот. При обработке хлопкового волокна перекисными растворами в зависимости от концентрации перекиси водорода может удаляться от 11 до 29% пектиновых соединений. Пектиновые вещества могут удаляться при отварке хлопка со щелочью под давлением, а также с применением ферментных препаратов [3]. Под действием пектиназ гидролитическое расщепление пектиновых веществ происходит в несколько этапов: протопектиназа действует на нерастворимый протопектин путем разрушения связей между компонентами клеточных стенок и пектином, в результате чего последний переходит в растворимое состояние [9].

На рис. 3 представлены зависимости оптической плотности нейтрализованного гидролизата с содержащимися в нем пектиновыми веществами от длины волны [4].

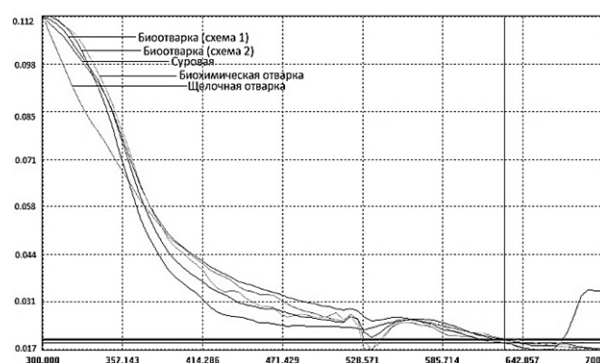


Рис. 3

Использование ферментной отварки с пектиназой в составе композиции вызывает гидролитическое расщепление пектиновых веществ, способствует эффективному их

извлечению из волокна (рис. 4 – гистограмма расчетных значений содержания пектиновых веществ (%) в структуре волокна).

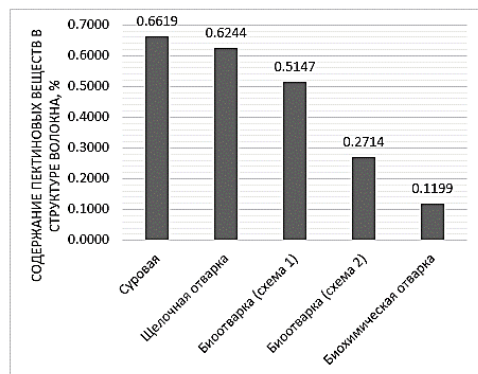


Рис. 4

С увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе (схема 2, биохимическая отварка) увеличивается доля удаленных пектиновых веществ.

Визуальная оценка серно-кислых растворов образцов целлюлозы позволяет сделать вывод о наибольшем проценте удаленных сопутствующих примесей ткани после биохимической отварки (рис. 5 – серно-кислые растворы целлюлозы; а) суровой; б) после щелочной отварки; в) после биоотварки (режим 1); г) после биоотварки (режим 2); д) после биохимической отварки).

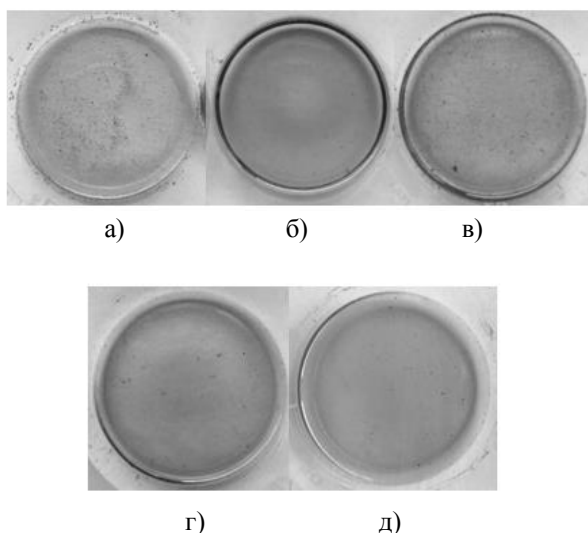


Рис. 5

Такие же результаты демонстрирует гистограмма оптической плотности серно-

кислых растворов (190) нм исследуемых хлопчатобумажных тканей – оптическая плотность раствора после биохимической отварки по сравнению с растворенной суровой тканью падает на 30% (рис. 6 – гистограмма оптической плотности серно-кислых растворов целлюлозы).

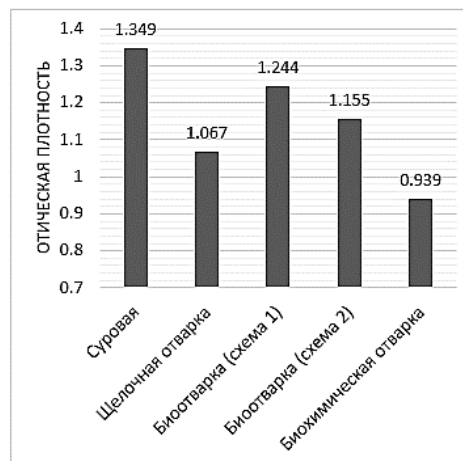


Рис. 6

На 9% меньше совмещенной отварки позволяет удалить щелочная отварка материалов, и на 10% больше, чем чистая биоотварка. При этом происходит уменьшение концентрации NaOH в 2 раза, сокращение продолжительности обработки в щелочном растворе, а также воздействия высокой температуры более чем в 2 раза.

Таким образом, на данном этапе исследований установлено, что наиболее эффективной с точки зрения удаления сопутствующих примесных соединений хлопка является совмещенная биохимическая отварка.

Известно, что целлюлаза вызывает гидролиз β -глюкозидной связи в углеводах [1]. Результатом такого гидролиза целлюлозы является ее деструкция. Гидроцеллюлоза отличается повышенной растворимостью в горячих водных, особенно щелочных растворах. Таким образом, щелочная отварка увеличивает степень деструкции хлопкового биополимера за счет обработки при высоких температурах. Следовательно, учитывая, какое воздействие на целлюлозу оказывает отварка, будь то щелочная или ферментная, принято решение определить, в какой степени приведенные технологии способствуют разрушению целлюлозы.

Вязкость медно-аммиачного раствора образца ткани, биообработанной по режиму 2 (с меньшей концентрацией фермента целлюлаза), снизилась по сравнению с раствором сурового образца на 3,5%, и превысила показатель вязкости раствора образца, подготовленного по режиму 1 (рис. 7 – гистограмма вязкости медно-аммиачных растворов целлюлозы).

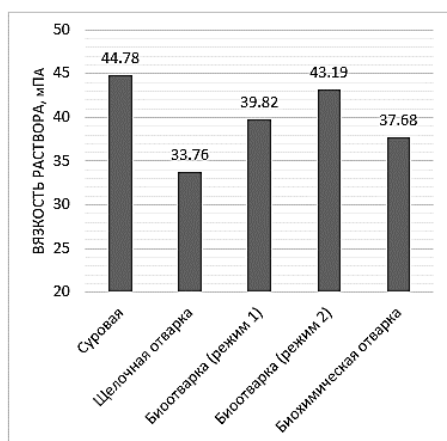


Рис. 7

Введение в технологию щелочной отварки этапа биоотварки и снижение концентрации щелочи в составе варочного раствора позволяет понизить степень деструкции целлюлозы – вязкость медно-аммиачного раствора повышается на 10% по сравнению с вязкостью раствора после щелочной отварки.

Для определения эффективности подготовки хлопчатобумажной ткани по биохимической и щелочной технологиям исследован показатель капиллярности [12]. Исследуемая хлопчатобумажная ткань производства ОАО "Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение" предназначена для изготовления постельного белья. Технические условия на постельные ткани не содержат требования, предъявляемые к капиллярности [13], однако известно, что капиллярность хорошо подготовленной хлопчатобумажной ткани составляет около 125...140 мм за 30 мин [10]. На рис. 8 представлена диаграмма зависимости подъема водяного столбика от времени исследуемых образцов ткани.

Наилучшей смачиваемостью обладают образцы, подготовленные по биохимической и щелочной технологии, их капиллярность составляет 164 и 142 мм/ч соответственно.

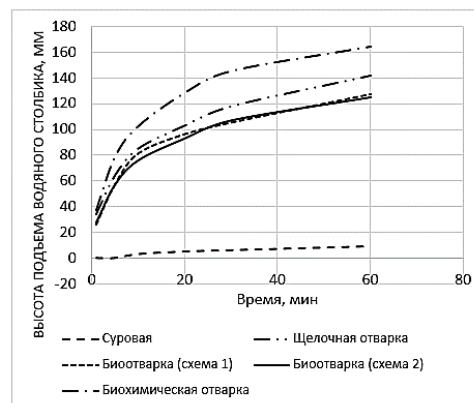


Рис. 8

ВЫВОДЫ

Не смотря на то, что применение ферментной отварки позволяет максимально сохранить целлюлозу, для достижения требуемой степени очистки от примесей и максимальной смачиваемости, целесообразно применять совмещенные биохимические способы подготовки, состоящие из последовательной обработки ферментными препаратами и варочным раствором традиционной щелочной отварки при малых концентрациях его составных компонентов. Благодаря применению нетоксичных биорасщепляемых ферментов в технологии подготовки хлопчатобумажных текстильных материалов к крашению возможно уменьшение концентрации NaOH в 2 раза, сокращение продолжительности обработки в щелочном растворе, а также воздействия высокой температуры более чем в 2 раза путем дополнительного разрыхления структуры волокна и создания условий для более глубокого и полного удаления примесей. Результат мягкого воздействия – сохранение волокнообразующего полимера, а следовательно, прочности волокна, а также снижение негативного влияния на экологическую обстановку.

Использование в биотехнологии отварки полиферментных композиций позво-

ляет комплексно воздействовать на различные виды примесей, способствуя проведению эффективной очистки волокна и придания ему повышенных гидрофильных свойств.

Разработанная технология биохимической отварки апробирована в условиях ОАО "Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение" (Республика Беларусь) для подготовки хлопчатобумажных тканей под крашение в средние и темные тона и успешно внедрена в производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кричевский Г.Е.* Химическая технология текстильных материалов. – М.: РЗИТЛП. – 2001.
2. *Забивалова Н.М., Бочек А.М., Кутузова С.Н., Лаврентьев В.К.* Влияние химического состава и структурной организации волокон льна разных сортов на их деформационно-прочностные и физико-химические свойства // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2009, № 2. С. 44...49.
3. *Барышева Н.В.* Разработка основ ферментативной технологии отварки хлопчатобумажных тканей: Дис... канд. техн. наук. – М.: РГБ, 2006.
4. *Алеева С.В.* Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: Дис ... док. техн. наук. – М.: ИВГПУ, 2014.
5. *Алеева С.В., Кокшаров С.А.* Исследование и описание изменения капиллярности льняной ткани в условиях ферментативной обработки // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2012, № 3. С.91...95.
6. *Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O.* Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // Autex Research Journal. – 2015, 3. P. 215...225.
7. *Алеева С.В., Кокшаров С.А.* Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных текстильных материалов // Российский химический журнал им. Д.И. Менделеева. – 2011, №3. С.46...58.
8. *Алеева С.В., Лепилова О.В., Кокшаров С.А.* Биохимические методы развития удельной поверхности льняных материалов для получения сорбентов и демпфирующих композитов // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 4. С. 89...95.
9. *Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Котко К.А.* Применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2018, № 2. С. 104...111.

10. *Котко К.А., Ясинская Н.Н., Скобова Н.В.* Инновационная биотехнология подготовки целлюлозосодержащих текстильных материалов // Сб. научн. работ студентов Республики Беларусь "НИРС 2018". – Минск: БГУ, 2019. С. 168...170.

11. *Пряжников В.Г.* Создание и применение препарата на базе ПАВ для интенсифицированной отварки хлопчатобумажных тканей: Дис ... канд. техн. наук. – М.: ИВГПУ, 2003.

12. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств (с Изменениями №1-4) : ГОСТ 3816-81. – Введ. 30.06.1982. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1981.

13. Белье постельное. Общие технические условия : ГОСТ 31307-2005. – Введ. 01.01.2007. – М.: Стандартинформ, 2006.

REFERENCES

1. *Krichevsky G.E.* Chemical technology of textile materials: textbook. for universities. – М.: RCITLI. – 2001.
2. *Zabivalova N.M., Bochek A.M., Kutuzova S.N., Lavrentiev V.K.* Influence of the chemical composition and structural organization of flax fibers of different varieties on their deformation-strength and physico-chemical properties // Vestnik of the St. Petersburg State University of Technology and Design. – 2009, №. 2. P. 44 ...49.
3. *Barysheva N.V.* Development of the basics of the enzymatic technology for the decoction of cotton fabrics: Dis. ... cand. tech. Sciences. – М.: RSL, 2006.
4. *Aleeva S.V.* Methodological bases for improving the processes of biochemical modification of linen textile materials: Dis. ... doc. tech. Sciences. – М.: IVSPU, 2014.
5. *Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Study and description of changes in the capillarity of linen fabric under conditions of enzymatic treatment // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2012, № 3. P. 91...95.
6. *Koksharov S., Aleeva S., Lepilova O.* Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning // Autex Research Journal. – 2015, 3. P. 215...225.
7. *Aleeva S.V., Koksharov S.A.* Chemistry and technology of biocatalyzed nanoconstruction of linen textile materials. DI. Mendelev. – 2011, № 3. P. 46...58.
8. *Aleeva S.V., Lepilova O.V., Koksharov S.A.* Biochemical methods for the development of the specific surface of linen materials for the production of sorbents and damping composites. Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018., №4. P. 89...95.
9. *Yasinskaya N.N., Skobova N.V., Kotko K.A.* The use of pectinolytic enzyme preparations for the preparation of linen fabrics for coloring // Vestnik of the Vitebsk State Technological University. – 2018, № 2. P.104...111.

10. *Kotko K.A., Yasinskaya N.N., Skobova N.V.* Innovative biotechnology for the preparation of cellulose-containing textile materials // Collection of scientific works of students of the Republic of Belarus "NIRS 2018". – Minsk: BSU, 2019. P. 168...170.

11. *Pryazhnikova V.G.* Creation and application of a preparation based on surfactants for the intensified de-coction of cotton fabrics: dis. ... cand. tech. Sciences. – M.: IVSPU. – 2003.

12. Textile fabrics. Methods for determining hygroscopic and water-repellent properties (with Changes №1-4): GOST 3816-81. – Input. 06/30/1982. – M.: ИПК Publishing house of standards, 1981.

13. Bed linen. General specifications: GOST 31307-2005. – Input. 01.01.2007. – M.: Standartinform, 2006.

Рекомендована кафедрой экологии и химических технологий. Поступила 06.10.22.
