

УДК 677.027.162

А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. Н. Ясинская

Витебский государственный технологический университет  
210035 Республика Беларусь, Витебск, Московский пр-т, 72**ВЛИЯНИЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ  
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

© А. Н. Бизюк, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. Н. Ясинская, 2013

*В работе проведено исследование влияния СВЧ-сушки на изменение основных физико-механических свойств образцов натуральных и синтетических тканей, получены математические модели, отражающие зависимость физико-механических свойств материалов от режимов СВЧ-сушки.*

**Ключевые слова** ■ СВЧ-сушка, текстильные материалы, физико-механические свойства, капиллярность, разрывная нагрузка, удлинение при разрыве ■

**The Effect of Microwave Radiation on Physical and Mechanical Properties of Textile Materials**

*This paper studied the effect of microwave drying on changing basic physical and mechanical properties of the samples of natural and synthetic fabrics, Mathematical models reflect the dependence of the physical and mechanical properties of materials on the modes of microwave drying ■*

**Key words** ■ microwave drying, textile materials, mechanical properties, capillarity, breaking strength and elongation at break

Заклочительная отделка является важнейшей стадией технологического процесса получения текстильных материалов, обеспечивающей придание этим материалам требуемых потребительских и эксплуатационных свойств. Известно, что для интенсификации процессов заключительной отделки используют химические, физические и биологические способы. В данной работе рассматривается физическая интенсификация операции сушки при заключительной отделке тканей с использованием электромагнитных волн СВЧ-диапазона. Преимуществом данного способа сушки является зависимость поглощаемой энергии от количества влаги в материале, что обеспечивает саморегулирование процесса. В результате можно достичь равномерного нагрева всей массы однородного материала и избирательного удаления влаги из неоднородного по структуре материала.

Целью работы являлось исследование влияния СВЧ-сушки на изменение физико-механических характеристик льняных и полиамидных тканей поверхностной плотности 120–240 г/м<sup>2</sup>: разрывной нагрузки, удлинения при разрыве, капиллярности и усадки. Проведен полный факторный эксперимент с двумя изменяемыми факторами и тремя уровнями варьирования [1]. В качестве изменяемых факторов выбраны: мощность СВЧ-излучения и время сушки. Для определения уровней варьирования факторов проведен предварительный эксперимент, результаты которого представлены в табл. 1. Для сушки материалов использовалась СВЧ-установка с максимальной мощностью 900 Вт и рабочей частотой 2450 МГц.

В табл. 2 приведены некоторые обобщенные результаты оценки физико-механических свойств,

отражающие характер изменений этих показателей относительно значений, полученных при конвективном способе сушки при температуре 150 °С, а также для ткани увлажненной и высушенной в естественных условиях (в таблице обозначена как «исходная»). Данные представлены для образцов, которые были увлажнены до относительной влажности 90% и высушены до равновесного влагосодержания.

Из табл. 2 можно сделать вывод, что СВЧ-сушка увеличивает показатели капиллярности и усадки для исследованных образцов льняного материала по сравнению с исходной тканью. Получены математические зависимости со статистически значимыми коэффициентами капиллярности льняного материала от варьируемых факторов:

$$Y_1 = -31,5X_1 + 15,89X_1^2 - 23X_2 +$$

$$7,72X_2^2 + 13,08X_1X_2^2 + 8,92X_1^2 \cdot X_2;$$

и усадки:  $Y_2 = -0,79X_1 - 0,34X_2 + 0,53X_2^2$ .

На рис. 1 представлены поверхности отклика зависимости капиллярности (а) и усадки (б) льняной ткани от варьируемых факторов.

На поверхности суровых тканей содержатся гидрофобные загрязнения, которые препятствуют проникновению влаги в волокно [2]. Для их удаления обычно используют процесс отварки. В исследуемом процессе увеличение капиллярности по сравнению с образцом, высушенным конвективным способом, можно объяснить частичным разрушением гидрофобных примесей в процессе СВЧ-нагрева, а также эффектом увеличения радиуса капилляров вследствие расклинивающего действия молекул воды при за-



**Таблица 1.** Уровни варьирования факторов

Уровни проведения эксперимента	Натуральные/кодированные значения <i>i</i> -го фактора	
	$X_1$ (мощность, Вт)	$X_2$ (время, мин)
Основной уровень фактора	600/0	3/0
Интервал варьирования фактора	300/1	1/1
Верхний уровень фактора	900/+1	4/+1
Нижний уровень фактора	300/-1	2/-1

**Таблица 2.** Сравнение физико-механических свойств материалов при конвективной и СВЧ-сушке

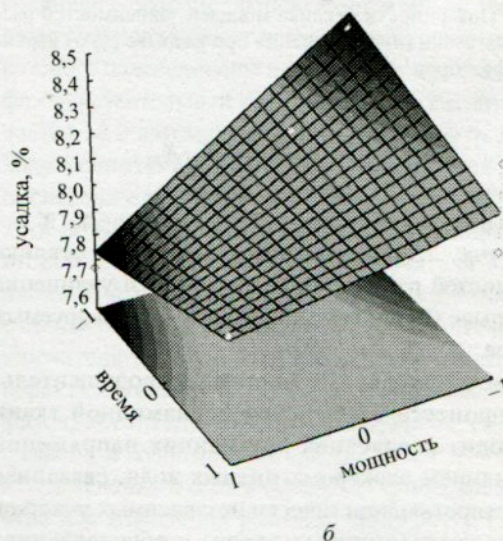
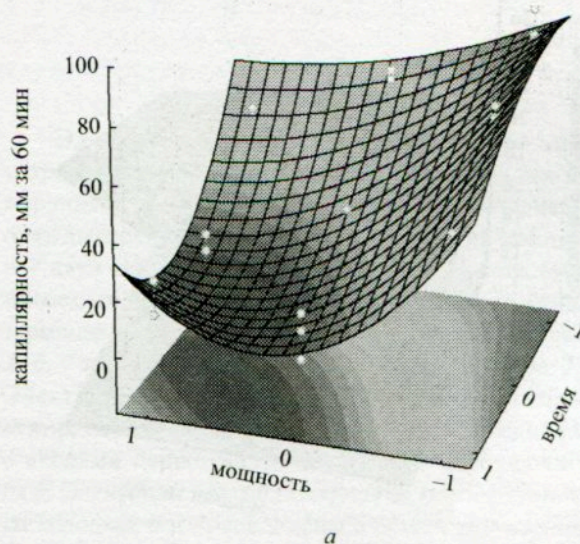
Показатель	Волокнистый состав	Исходная	Конвективная сушка	СВЧ		
				300 Вт	600 Вт	900 Вт
Капиллярность, мм за 60 мин	Лен	12,0	51,0	81,0	63,0	43,0
	Полиамид	161,0	160,0	157,5	152,0	153,0
Усадка, %	Лен	5,0	5,2	8,3	7,7	7,7
	Полиамид	0,1	0,3	2,1	2,5	2,7
Разрывная нагрузка, 0,5 кгс	Лен	83,0	81,0	74,5	66,0	70,0
	Полиамид	185,0	184,6	225,0	214,0	203,0
Удлинение при разрыве, мм	Лен	10,8	11,2	18,5	19,0	18,5
	Полиамид	17,5	17,0	21,5	20,5	19,5

паривании. Однако увеличение продолжительности СВЧ-обработки и мощности СВЧ-излучения приводит к уменьшению капиллярности образцов льняного материала, вплоть до практически полного исчезновения, что может быть вызвано уменьшением среднего радиуса капилляров [3]. В. С. Побединский объясняет подобный эффект явлением дипольной поляризации, сопровождающимся более четкой ориентацией звеньев макромолекул [4].

В процессе смачивания льняной ткани происходит усадка за счет набухания волокон. При диэлектрическом способе сушки нагревание воды внутри пор волокна до закипания создает режим запаривания, что приводит к более полной усадке материала. Одновременно происходит частичная релаксация внутренних напряжений волокон. При увеличении мощности СВЧ-излучения и продолжительности сушки происходит полное удаление влаги из материала, и значение усадки незначительно уменьшается (рис. 1, б). Однако даже минимальные значения усадки, полученные в результате СВЧ-сушки льняных образцов, превышают значения, полученные при конвективном и естественном способах сушки.

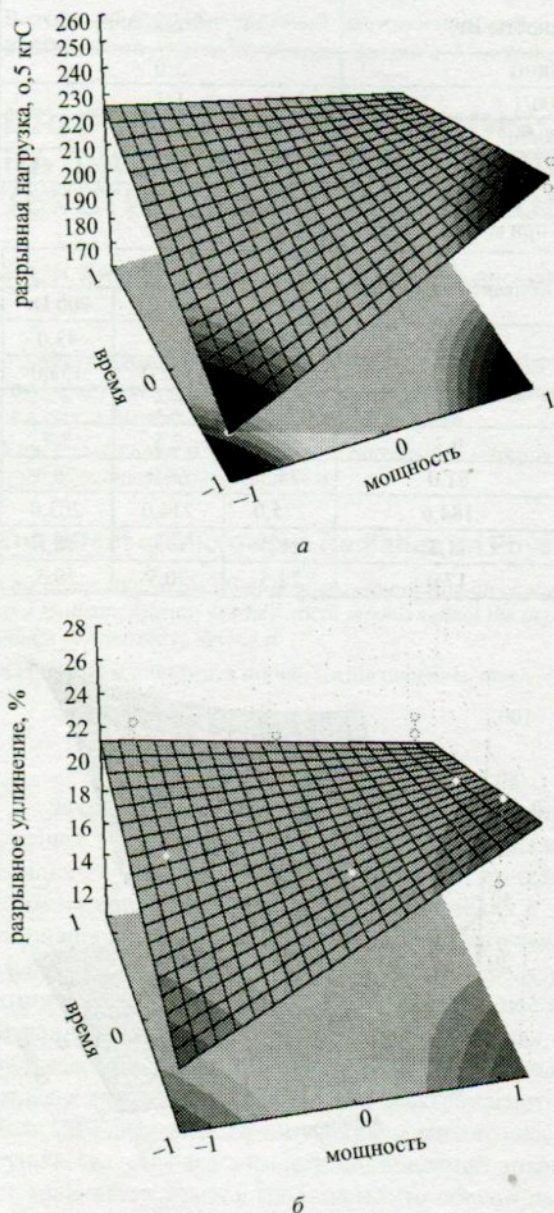
Наблюдаемое уменьшение разрывной нагрузки образцов льняного материала, подвергнутых СВЧ-сушке, может быть вызвано повышением хрупкости и частичным разрушением волокон из-за полного удаления воды. В процессе усадки уменьшаются силы сцепления и силы трения, действующие между волокнами. Это позволяет волокнам сдвигаться относительно друг друга, поэтому разрывное удлинение обработанных образцов выше, чем у необработанных и высушенных конвективным способом.

Воздействие электромагнитных волн СВЧ-диапазона на ткань из полиамидных волокон оказывает большее влияние на прочностные свойства. Математическая зависимость разрывной нагрузки от варьируемых факторов имеет вид:



**Рис. 1.** Поверхности отклика моделей зависимостей капиллярности (а) и усадки (б) от варьируемых факторов





**Рис. 2.** Поверхности отклика моделей зависимостей разрывной нагрузки (а) и удлинения при разрыве (б) от варьируемых факторов

$$Y_3 = 14,75X_1 - 26,88X_1 \cdot X_2,$$

а удлинения при разрыве —  $Y_4 = 1,75X_1 - 2,5X_1 \cdot X_2$ .

На рис. 2 представлены поверхности отклика зависимостей разрывной нагрузки (а) и удлинения при разрыве (б) полиамидной ткани от варьируемых факторов.

При увеличении мощности и продолжительности процесса СВЧ-сушки полиамидной ткани происходит релаксация внутренних напряжений под влиянием электромагнитных волн, связанная с подвижностью кинетически независимых участков макромолекул (амидных групп) и обусловленная обрывом с последующим восстановлением водородных связей в положении, характеризующемся

более низкой потенциальной энергией, достигается свободная усадка волокон [4].

Воздействие электромагнитных волн на надмолекулярную структуру полиамидных волокон приводит к повышению степени ориентации кристаллитов, поперечные размеры которых могут в зависимости от времени обработки и мощности СВЧ-излучения как увеличиваться, так и уменьшаться. Изменения надмолекулярной структуры элементарных волокон оказывают влияние на их механические свойства. В. С. Побединским установлено влияние ВЧ-излучения на прочностные свойства тканей из натуральных и химических волокон [4]. Экспериментальные данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что при СВЧ-сушке происходит увеличение разрывной нагрузки полиамидных волокон и удлинения при разрыве по сравнению с естественным и с конвективным способами сушки.

Таким образом, СВЧ-сушка не приводит к ухудшению физико-механических характеристик текстильных материалов. Напротив, в процессе диэлектрического нагрева происходит перестраивание структуры волокон, в результате чего улучшаются капиллярные, деформационные и прочностные свойства.

### Выводы

1. Показано, что при сушке тканей из целлюлозных волокон с использованием электромагнитных волн СВЧ диапазона происходит улучшение капиллярных свойств по сравнению с конвективным способом. Однако при увеличении мощности и продолжительности воздействия капиллярность уменьшается за счет уменьшения радиуса капилляров.

2. Установлено, что СВЧ-нагрев позволяет получить большую усадку текстильных тканей при заключительной отделке, что может быть вызвано более полным протеканием релаксационных процессов по сравнению с традиционными методами сушки.

3. Установлено, что в процессе СВЧ-сушки увеличивается разрывная нагрузка и удлинение при разрыве тканей из полиамидных волокон. Наблюдалось увеличение разрывной нагрузки полиамидных волокон и удлинения при разрыве по сравнению с конвективной сушкой.

4. Полученные результаты и аналитические зависимости можно использовать при определении оптимальных параметров СВЧ-сушки при заключительной отделке текстильных материалов.

### Список литературы

1. Севостьянов А. Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. — М.: Изд-во МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. — 648 с.
2. Шустов Ю. С. Основы текстильного материаловедения. — М.: Изд-во МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2007. — 302 с.
3. Браславский В. А. Капиллярные процессы в текстильных материалах. — М.: Легпромбытиздат, 1987. — 112 с.
4. Побединский В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов. — Иваново: Изд-во ИХР РАН, 2000. — 128 с.