

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ТЕРМООБРАБОТКИ ХИМИЧЕСКИХ ВЫСОКОУСАДОЧНЫХ НИТЕЙ

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

УДК 677.494.675.022.78

РЕФЕРАТ

ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВЫСОКООБЪЕМНАЯ ПРЯЖА, ХИМИЧЕСКИЕ ВЫСОКОУСАДОЧНЫЕ НИТИ, ТЕРМООБРАБОТКА, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ СВЧ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, УСАДКА

Объектом исследований является процесс повышения объемности химических высокоусадочных нитей в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ-диапазона.

Цель работы – разработка энергоэффективной технологии повышения объемности текстильных материалов из натуральных и химических волокон с использованием электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона.

В результате экспериментальных и теоретических исследований процесса термообработки текстильных материалов из натуральных и химических волокон в условиях СВЧ-нагрева разработана методика проведения исследований технологического процесса повышения в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ диапазона, получены математические модели зависимости усадки комбинированных высокоусадочных нитей от основных параметров СВЧ обработки, позволяющие рассчитывать рациональные режимы процесса повышения объемности текстильных материалов, проведена оптимизация основных параметров процесса отделки.

ABSTRACT

TEXTILE FABRICS, YARN HIGH VOLUME, CHEMICAL HIGH SHRINKAGE YARN, HEAT TREATMENT, MICROWAVE ELECTROMAGNETIC WAVES, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES, SHRINKAGE

The research object is the process of the volume improving of high shrinkage chemical threads under the influence of electromagnetic waves in the microwave range.

The work purpose is development of energy efficient technologies to increase the volume of textile materials made of natural and chemical fibers with using of electromagnetic waves of microwave (UHF) range.

As a result of experimental and theoretical studies of the process of heat treatment of textile materials made of natural and chemical fibers under conditions of microwave heating the authors have developed a technique for researching the technological process of volume improving under the influence of electromagnetic waves in the microwave range. The authors have obtained a mathematical model of the dependency of shrinkage combined high shrinkage threads on the main parameters of microwave processing to calculate a rational modes of the process of improving the volume of textile materials. The authors have conducted the optimization of the main parameters of the finishing process.

ВВЕДЕНИЕ

Принцип изготовления текстильных материалов, обладающих специфическими свойствами (высокой усадкой и повышенной объемностью), основан на смешивании высокоусадочных (с усадкой 20–60 %) и низкоусадочных волокон

и нитей. В результате производится текстильный материал, обладающий способностью увеличивать свой объем в результате термовлажностной обработки в свободном (ненатянтом) состоянии. При этом высокоусадочный компонент укорачивается (усаживается), принимая

более определенную ориентацию по оси материала. Низкоусадочный компонент обвивается вокруг высокоусадочного, принимая менее ориентированное положение в том же направлении. Это придает материалу большую пушистость, значительно уменьшает объемную массу и увеличивает поперечные размеры.

При производстве высокообъемных текстильных материалов из натуральных и химических волокон основным процессом является процесс релаксации высокоусадочного компонента и повышение их объемности путем обработки в среде горячего воздуха или пара.

Одним из способов повышения качества и интенсификации процессов повышения объемности текстильных материалов является использование электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона. Преимущество СВЧ-нагрева по сравнению с конвективным способом подвода тепла обусловлено возможностью равномерного и быстрого нагрева текстильных материалов как малой, так и большой поверхностной плотности [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является определение параметров процесса повышения объёмности текстильных материалов с использованием электромагнитных волн СВЧ-диапазона, обеспечивающих снижение энергоёмкости базовых процессов.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе в качестве высокоусадоч-

ного компонента использовалась полиэфирная комплексная нить линейной плотности 16.8 текс, полученная на Светлогорском ПО «Химволокно» способом физической модификации. В качестве низкоусадочного компонента использовалось хлопковое волокно.

Получение комбинированной высокоусадочной нити линейной плотности 40 текс осуществлялось на прядильно-крутильной машине ПК-100. Физико-механические показатели комбинированной высокоусадочной нити представлены в таблице 1.

Методика проведения исследований процесса повышения объемности текстильных материалов с использованием электромагнитных волн СВЧ состояла из следующих этапов:

- подготовка образцов комбинированных высокоусадочных нитей.
- увлажнение комбинированных высокоусадочных нитей.
- отжим до остаточного влагосодержания 100–200 %.
- установка стационарного теплового режима при заданной мощности 100, 300, 600 или 850 Вт.
- определение абсолютной линейной усадки образцов и её пересчет в относительную.

Влагосодержание образцов комбинированных высокоусадочных нитей определялось весовым способом. Временные интервалы задавались с помощью их установки на СВЧ-камере.

Для исследования процесса усадки в условиях СВЧ-воздействия проведен эксперимент, результаты которого представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Физико-механические показатели комбинированной высокоусадочной нити

Показатель	Значение показателя
Состав: полиэфирная высокоусадочная нить – 40 % ; хлопковое волокно – 60 %	
Линейная плотность комбинированной нити, текс	40.35
Разрывная нагрузка, сН	763.45
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	4.39
Разрывное удлинение, %	22.30
Крутка, кр/м	528.7
Коэффициент вариации по крутке, %	1.30
Усадка, %	35.98
Диаметр нити после термообработки, мм	0.780

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам экспериментов методом наименьших квадратов была получена регрессионная модель зависимости усадки высокоусадочной нити от начальной влажности, мощности СВЧ-излучения и времени обработки [2]:

$$s = \frac{\tau \cdot P \cdot W}{(2,20 \cdot \tau + 193) \cdot (-0,197 \cdot P - 17) \cdot (0,515 \cdot 10^{-3} \cdot W - 5,08)}, \quad (1)$$

где s – относительная усадка, %; τ – время термообработки, с; P – мощность излучения, Вт; W – относительная влажность образцов до термообработки, %.

На рисунке 1 изображены зависимости усадки высокоусадочной нити от режимов процесса термообработки при воздействии СВЧ-излучения при различной начальной влажности.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что при одинаковых значениях режимных параметров процесса термообработки увеличение начальной влажности образцов приводит к повышению усадки.

Для мощности СВЧ-излучения 450 Вт зависимости усадки от времени обработки при различной начальной влажности представлены на рисунке 2.

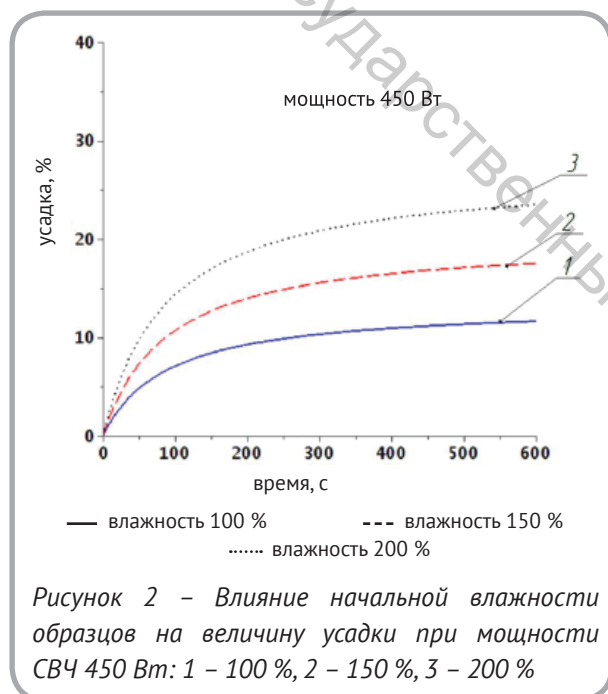
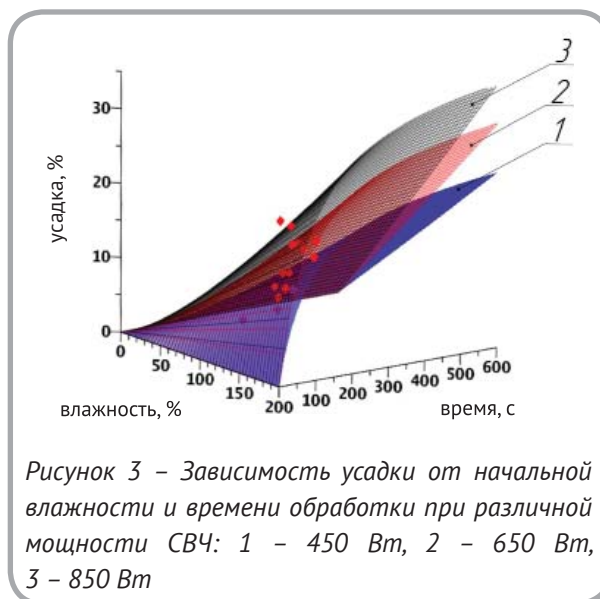
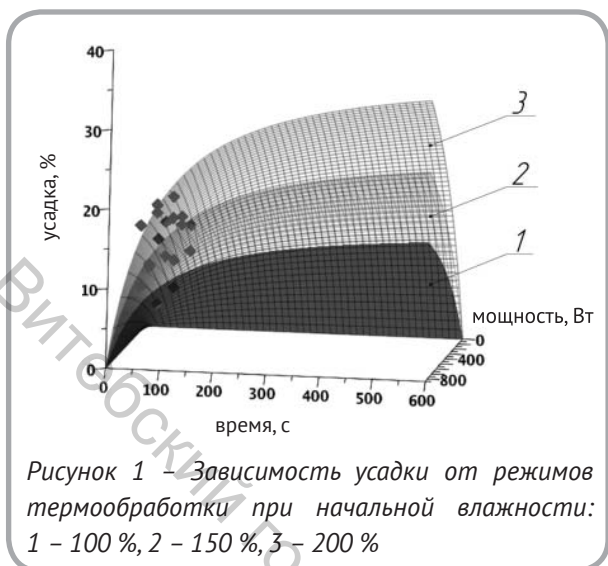
На рисунке 3 изображены зависимости усадки высокоусадочной нити от режимов процесса термообработки при воздействии СВЧ-излучения при различной мощности СВЧ-излучения.

Установлено, что при одинаковых значениях начальной влажности и времени обработки увеличение мощности СВЧ-излучения приводит к повышению усадки. Для начальной влажности 150 % зависимости усадки от времени обработки при различной мощности СВЧ-излучения представлены на рисунке 4.

Анализ зависимостей показал, что одинаковых значений усадки при одном и том же времени обработки можно достичь различными комбинациями начальной влажности и мощности СВЧ-излучения. На рисунке 5 продемонстрировано совпадение графиков усадки образцов при двух комбинациях начальной влажности

Таблица 2 – Экспериментальные данные по определению усадки

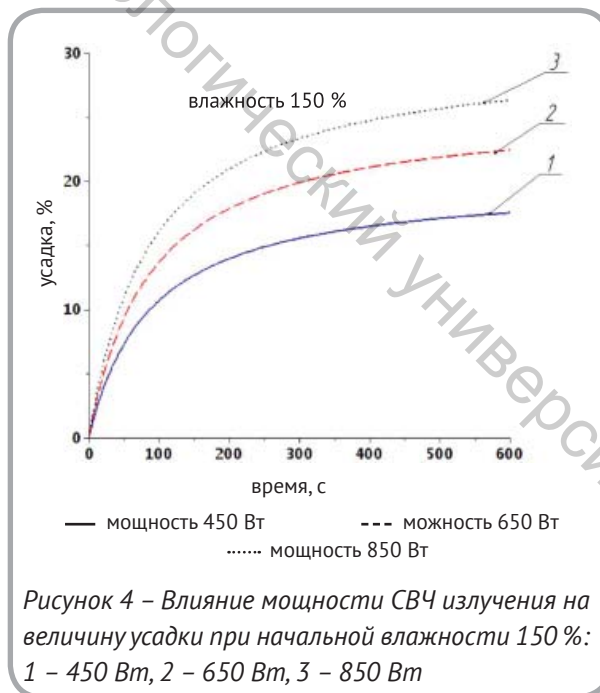
Влажность, %	Мощность, Вт	Время, с	Усадка, %
127,44	450	60	5,78
207,10	450	60	13,92
156,99	450	90	7,94
176,13	450	90	11,31
158,27	450	120	12,60
188,52	450	120	15,84
180,57	650	60	12,00
166,91	650	60	11,67
163,78	650	90	13,10
189,27	650	90	17,37
167,00	650	120	17,13
191,69	650	120	18,13
171,73	850	60	10,38
188,87	850	60	18,10
173,72	850	90	19,76
206,46	850	90	20,77
146,55	850	120	19,20
204,13	850	120	21,88



$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k}, \quad (2)$$

где d_i – частные функции желательности ($i \in [1..k]$), k – количество частных функций желательности.

Частные функции желательности d_i определяются путем нормализации результирующих функций Y_i таким образом, чтобы значения d_i лежали в пределах от 0 до 1, так как результирующие показатели могут иметь различные едини-



и мощности СВЧ-излучения: 300 Вт, 200 % и 850 Вт, 100 %.

При решении однокритериальной задачи оптимизации находится оптимальное значение одного результирующего показателя. Но в рассматриваемой задаче нужно найти такие параметры процесса, при которых оптимальными являются несколько результирующих показателей: расход энергии и относительная усадка высокоусадочной нити. Для решения этой оптимизационной задачи можно ввести обобщенную функцию желательности, которая учитывает значения всех результирующих показателей [2, 3]:

цы измерений и диапазоны значений. При этом значению 0 соответствуют наименее, а 1 – наиболее желательные значения функций Y_i [3, 4]:

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 0, & Y_i < a_i, \\ \left(\frac{Y_i - a_i}{b_i - a_i}\right)^{s_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i, \\ 1, & Y_i > b_i. \end{cases} \quad (3)$$

$$d_i(Y_i) = \begin{cases} 1, & Y_i < a_i, \\ \left(\frac{Y_i - a_i}{b_i - a_i}\right)^{t_i}, & a_i \leq Y_i \leq b_i, \\ 0, & Y_i > b_i. \end{cases} \quad (4)$$

где d_i – частные функции желательности; Y_i – результирующие функции; a_i, b_i – границы интервала желательности; s_i, t_i – коэффициенты, задающие кривизну линии, соединяющей наиболее и наименее желательные значения на графике функции.

Оптимальными значениями входных параметров будут те значения, при которых достигается максимальное значение обобщенной функции желательности. В качестве нормализующих

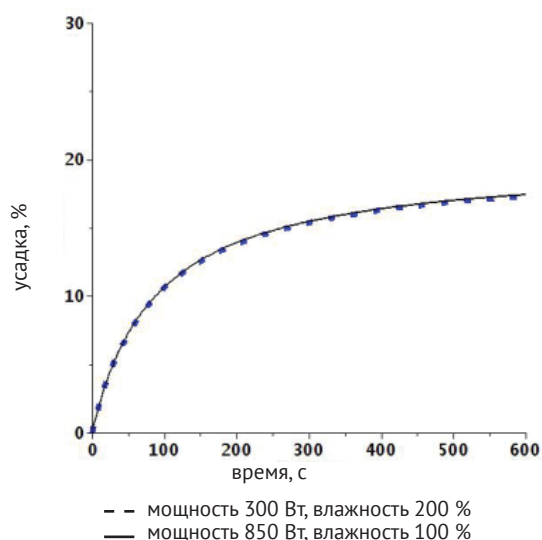


Рисунок 5 – Совмещение графиков усушки образцов при двух комбинациях начальной влажности и мощности СВЧ-излучения

функций выбраны функции желательности Дерринжера, которые находятся по формулам (3 – 4). Графики данных функций представлены на рисунке 6 [1, 3, 5].

При построении функций желательности d_i используются значения границ интервала желательности a_i и b_i , результирующего показателя, которые определяются с помощью экспертных оценок [2, 3]. Формула (3) используется в случаях, когда для результирующего показателя наиболее желательными являются максимальные значения (рисунок 6 а). При оптимизации процесса термообработки высокоусадочной нити таким показателем является усадка s . В качестве нижней границы диапазона желательности взято значение $s = 0$, а в качестве верхней границы – $s = 30$ %. Для получения частной функции желательности для усадки была использована формула (1).

Формулу (4) целесообразно применять, когда для результирующего показателя наиболее желательными являются минимальные значения (рисунок 6 б). При решении задачи оптимизации процесса термообработки высокоусадочной нити в условиях воздействия электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона таким показателем является расход энергии E . В качестве нижней границы диапазона желательности взято значение $E = 0$, а в качестве верхней границы – $E = 23,6$ Вт · ч. Для получения частной функции желательности для затрат энергии была использована формула [1, 3]

$$E = P \cdot \tau / 3600. \quad (5)$$

Полученные частные функции желательности для усадки d_1 и энергозатрат d_2 были использованы для получения обобщенной функции желательности D по формуле (2).

На рисунке 7 представлены графики обобщенной функции желательности для трех значений начальной влажности.

Полученная обобщенная функция желательности позволяет для выбранной мощности излучения определить оптимальное время воздействия и наоборот. В результате исследований была получена функция для определения оптимальных комбинаций мощности и времени воз-

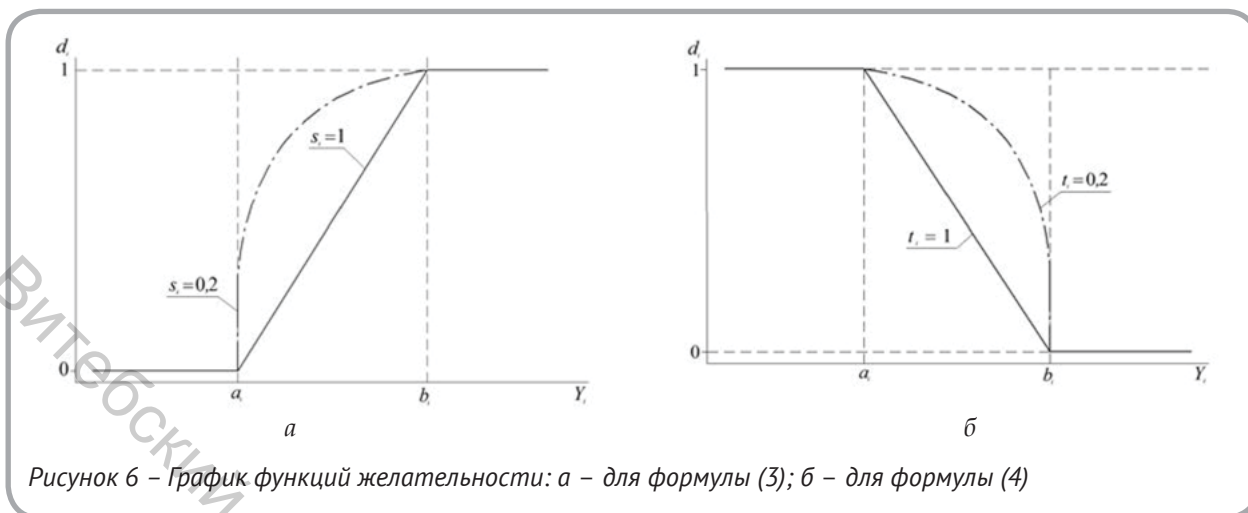


Рисунок 6 – График функций желательности: а – для формулы (3); б – для формулы (4)

действия для различной начальной влажности, представленная формулой (6)

$$\tau = \frac{38700}{P + 116} \quad (6)$$

График функции (6) представлен на рисунке 8.

Получены зависимости для определения энергозатрат, необходимых для достижения заданной усадки, графики которых представлены на рисунке 9.

Разработано программное обеспечение, позволяющее рассчитать оптимальные комбинации мощности СВЧ, времени воздействия и начальной влажности высокоусадочной нити для

достижения заданной величины усадки. С использованием этого программного обеспечения был получен набор рекомендуемых параметров процесса термообработки комбинированных высокоусадочных нитей, представленный в таблице 3.

ВЫВОДЫ

1. С использованием разработанной методики проведения исследований процесса повышения объемности текстильных материалов получена математическая модель зависимости усадки химической высокоусадочной нити от начальной влажности, мощности СВЧ-излучения и времени обработки, позволяющая определять рациональные параметры технологического

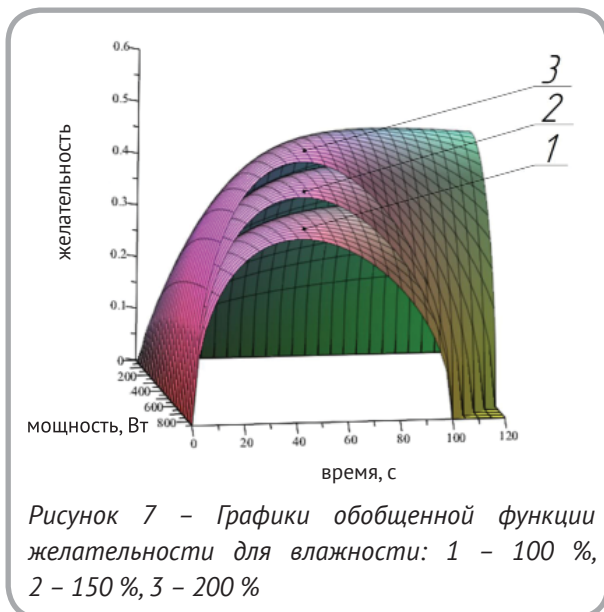


Рисунок 7 – Графики обобщенной функции желательности для влажности: 1 – 100 %, 2 – 150 %, 3 – 200 %



Рисунок 8 – График оптимальных комбинаций режимных параметров процесса термообработки высокоусадочной нити

процесса повышения объемности текстильных материалов.

2. Для комбинированной высокоусадочной нити линейной плотности 30 текс получен набор рекомендуемых параметров процесса термообработки (влажность, мощность излучения, продолжительность воздействия) в условиях СВЧ-нагрева для достижения заданной усадки.

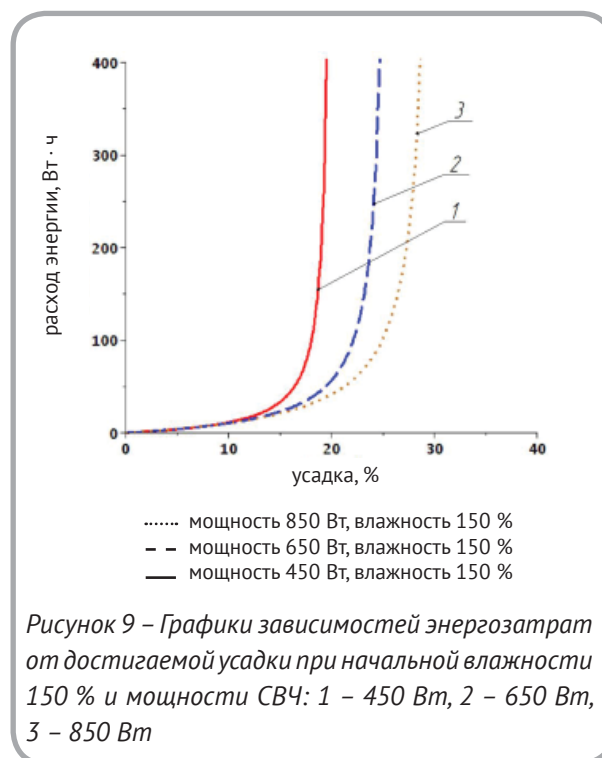


Таблица 3 – Рекомендуемые параметры процесса термообработки комбинированных высокоусадочных нитей в условиях СВЧ-воздействия

Усадка, %	Влажность, %	Мощность, Вт	Время, с
5	100	542	43
5	150	405	32
5	200	333	27
10	100	964	77
10	150	675	54
10	200	538	43
15	100	1469	117
15	150	959	77
15	200	741	59
20	100	2139	170
20	150	1280	102
20	200	954	76
25	100	3101	247
25	150	1658	132
25	200	1188	95
30	100	4653	370
30	150	2121	169
30	200	1451	116
35	100	7592	605
35	150	2709	216
35	200	1753	140

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Исследование пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2014, Вып. 26, С. 21–28.
2. Бизюк, А.Н., Жерносек, С.В., Ольшанский, В.И., Ясинская, Н.Н. (2014), Моделирование процесса пропитки текстильных материалов под действием СВЧ-излучения, *Известия вузов. Технология легкой промышленности*, № 1, Санкт-Петербург, 2014, С.16–18.
3. Derringer, G., Suich, D. (1980), *Simultaneous optimization of several response variables*, *Journal of Quality Technology*, 12 (4), 1980, pp. 214–219.
4. Harrington, J. The desirability function, *Industrial Quality Control*, 21 (10), 1965, pp. 494–498.
5. Севостьянов, А.Г., (1980), *Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности*, Москва, 392 с.

REFERENCES

1. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Ol'shanskii, V.I., Yasinskaya, N.N. (2014), Study of impregnation of textile materials in the field of microwave radiation [Issledovanie propitki tekstil'nyh materialov v pole SVCh izluchenija], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Bulletin of Vitebsk State Technological University*, Issue 26, Vitebsk, 2014, pp. 21–28.
2. Biziuk, A.N., Zhernosek, S.V., Ol'shanskii, V.I., Yasinskaya, N.N. (2014), Modeling of impregnation of textile materials under the influence of microwave radiation [Modelirovanie processa propitki tekstil'nyh materialov pod dejstviem SVCh izluchenija], *Izvestija vuzov. Tehnologija legkoj promyshlennosti – The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry*, № 1, Saint-Petersburg, 2014, pp.16–18.
3. Derringer, G., Suich, D. (1980), Simultaneous optimization of several response variables, *Journal of Quality Technology*, 12 (4), 1980, pp. 214–219.
4. Harrington, J. The desirability function, *Industrial Quality Control*, 21 (10), 1965, pp. 494–498.
5. Sevost'janov, A.G. (1980), *Metody i sredstva issledovaniya mehaniko-tehnologicheskikh processov tekstil'noj promyshlennosti* [Methods and tools to study mechanical-technological processes of the textile industry], Moscow, 1980, 392 p.

Статья поступила в редакцию 30.10.2014 г.