ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОПИТКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛЕ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

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

УДК 677.027.04

РЕФЕРАТ

ПРОПИТКА ТКАНЕЙ, ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ, ВЯЗКОСТЬ, КРАЕВОЙ УГОЛ СМАЧИВАНИЯ, ЭФФЕКТИВНЫЙ РАДИУС КАПИЛЛЯРОВ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОПИТКИ, ОБЪЕМНАЯ СКОРОСТЬ ПРОПИТКИ

Объектом исследования является процесс пропитки текстильных материалов в поле СВЧ-излучения.

Целью работы является определение основных закономерностей процесса пропитки текстильных материалов, получение математических моделей зависимостей физико-механических и физико-химических характеристик аппретирующей композиции и текстильного материала из натуральных волокон в процессе заключительной отделки в условиях СВЧ-обработки.

Авторами проведены экспериментальные исследования и установлены зависимости основных характеристик текстильных материалов и аппретирующей композиции от режимных параметров процесса пропитки и концентрации аппрета в условиях воздействия СВЧ-волн: поверхностного натяжения аппретирующей полимерной композиции; краевого угла смачивания и скорости его изменения; вязкости полимера; высоты подъема аппретирующего состава и скорости пропитки волокнистого материала; эффективного радиуса капилляров волокнистой системы.

Результаты работы позволяют прогнозировать изменение физико-механических и физико-химических характеристик аппретирующего состава и обрабатываемого волокнистого материала в процессе заключительной отделки в условиях СВЧ-обработки, оптимизировать технологические параметры процесса аппретирования.

ABSTRACT

IMPREGNATION OF TEXTILES, SURFACE TENSION, VISCOSITY, CONTACT ANGLE, EFFECTIVE RADIUS OF THE CAPILLARIES, EFFICIENCY OF THE IMPREGNATION, VOLUME RATE OF IMPREGNATION

The aim of the work is the experimental study of the process of impregnation of textile materials and determination of main regularities of the process. The authors conducted the study of the process of impregnation of textile materials in conditions of influence of microwaves. The obtained analytical dependences allow to determine surface tension, viscosity, contact angle and effective radius of the capillaries of textile materials in the process of impregnating them with the coupling agent in the field of microwave radiation. The efficiency of the impregnation of textile materials with different process parameters is investigated. The results can be used to determine optimal process parameters of impregnating of textile materials.

Results of the work allow to predict change of physical-mechanical and physical-chemical characteristics of the sizing composition and treated fibrous material in the process of final finishing in the microwave processing conditions. Results of the work allow to optimize technological parameters of impregnating.

Витебский государственный технологический университет

ВВЕДЕНИЕ

В операциях заключительной отделки текстильных материалов с использованием аппретов (в особенности на основе термореактивных смол) существуют определенные трудности, связанные с сушкой и термофиксацией, так как полимерные вещества обычно мигрируют к поверхности материала в процессе конвективной сушки, неравномерно распределяясь по толщине и локализуясь на поверхности волокнистого материала. В результате этого качество отделки материала находится на невысоком уровне.

Одним из способов повышения качества и интенсификации процессов отделки текстильных материалов является использование электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона. Преимущество СВЧ-нагрева при отделке по сравнению с конвективным способом подвода тепла обусловлено возможностью равномерного и быстрого нагрева текстильных материалов как малой, так и большой поверхностной плотности. Кроме того, дополнительным преимуществом является возможность совмещения операций химической отделки: крашения, аппретирования, сушки и операций термофиксации.

Технологический процесс заключительной отделки включает операцию нанесения аппрета способом импрегнирования с последующей сушкой и термофиксацией на материале. Аппретирующая композиция проникает в капилляры и поры материала, затем растворитель удаляется, а полимер остается в его капиллярах и порах. Качество готового материала зависит от эффективности протекания основных физико-химических процессов, происходящих при пропитывании волокнистого материала, к которым относятся: смачивание волокнистых материалов жидкими системами на основе полимерных композиций; капиллярные явления, то есть особенности движения жидкости в капилляре; выделение и закрепление полимера на поверхности волокон путем образования адгезионных контактов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является исследование процесса пропитки текстильных материалов аппретирующим составом под действием СВЧ-излучения. Эффективность процесса пропитывания тканей может характеризоваться скоростью и полнотой пропитывания. Под скоростью пропитывания обычно понимают скорость продвижения жидкости вглубь волокнистого материала. Скорость пропитывания зависит как от свойств аппрета, так и от структуры ткани. Скорость пропитывания может быть также охарактеризована временем, необходимым для поглощения материалом определенного количества жидкости [1]. Такую скорость принято называть объемной скоростью впитывания.

Под полнотой пропитывания понимается степень заполнения аппретом капиллярного объема ткани.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОПИТКИ И ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ткани содержат капилляры и поры различного радиуса. Так как капилляры меньшего радиуса заполняются медленнее и при этом составляют значительную часть структуры ткани, то часто возникает ситуация, когда, несмотря на высокую скорость пропитки, ткань пропитывается плохо и большая часть капилляров остается незаполненной.

Для определения полноты пропитки существуют различные методики. В данной работе использовалась методика, основанная на измерении количества жидкости, поглощенной материалом за определенное время [1]. Для оценки полноты пропитывания, после анализа результатов проведенных экспериментов, введен коэффициент пропитки, который показывает содержание аппрета в единице объема материала. При постоянном объеме поглощенной аппретирующей композиции коэффициент будет тем меньше, чем больше объем пропитанного материала, то есть чем эффективнее протекает процесс пропитки.

Коэффициент пропитки определяется из соотношения

$$k_{расп} = V_0 / V_1, \quad (1)$$

где V_0 – объем аппретирующей композиции, мм^3; V_1 объем распространения аппрета в материале после СВЧ-воздействия, мм^3.

Для изучения влияния режимов СВЧ-обработки на изменение коэффициента пропитки материала проведен полный факторный экспе-

Витебский государственный технологический университет

Таблица 1 – План эксперимента

Уровни проведения эксперимента	Натуральные значения i-го фактора		Кодированные значения i-го фактора	
	X1 **(мощность, ВТ)**	***X2*** **(время, с)**	***X1*** **(мощность)**	***X2*** **(время)**
Основной уровень фактора	450	60	0	0
Интервал варьирования фактора	150	30	1	1
Верхний уровень фактора	600	90	+1	+1
Нижний уровень фактора	300	30	-1	-1

Таблица 2 – Свойства препарата для аппретирования тканей

Показатель	**Значение**
Состав	дисперсия стирол-акрилата, самосшивающая
Внешний вид	низковязкая дисперсия белого цвета
Ионогенность	анионактивная
pH	около 4-6
Растворимость	смешивается с холодной и теплой (до 50 °С) водой в любом соотношении

римент. В качестве варьируемых факторов выбрана мощность и время СВЧ-излучения (таблица 1).

В качестве аппретирующей композиции для пропитки выбран препарат фирмы «Клариант» (Швейцария) Аппретан N 9616 жидкий — самосшивающаяся дисперсия стирол-акрилата. Свойства препарата представлены в таблице 2.

В ходе эксперимента определялось распределение аппретирующей композиции внутри материала на различной глубине от поверхностного слоя. Исследование распределения аппрета по объему проводилось на образцах многослойного текстильного материала из льняной пряжи. На поверхность образцов наносилось фиксированное количество аппретирующего состава (0,5 мл), и образцы подвергались воздействию СВЧ-излучения. После полного высыхания в естественных условиях образцы разделялись на слои, и на каждом слое измерялась площадь распространения аппрета. Объем распространения аппрета был определен умножением суммарной площади распространения аппрета на толщину одного слоя ткани. Для экспериментальных исследований использовалась лабораторная СВЧ-установка с максимальной мощностью 850 Вт и рабочей частотой 2450 МГц. Мощность СВЧ-излучения задавалась с помощью рукоятки управления переменной мощности блока питания генератора. Исследования проводились при трех значениях концентрации аппрета в аппретирующей композиции: 100 г/л, 200 г/л, 300 г/л.

Экспериментальные значения коэффициента пропитки определялись из соотношения (1). После обработки экспериментальных данных были получены статистически значимая математическая модель зависимости коэффициента пропитки материала от варьируемых факторов:

$$k_{расп} = (0{,}0211\ t^2 - 2{,}54\ t + 238) \cdot (-0{,}00279\ p^2 - 3{,}95\ p - 4170) \cdot (-3{,}91 \cdot 10^{-10}\ c - 7{,}78 \cdot 10^{-7}), \quad (2)$$

где t – время воздействия СВЧ, с; p – мощность СВЧ-излучения, Вт; c – концентрация аппрета, г/л.

Графики зависимости коэффициента пропитки от мощности СВЧ-излучения и времени воздействия при различных концентрациях аппрета представлены на рисунке 1.

В результате анализа полученных графиче-

Витебский государственный технологический университет

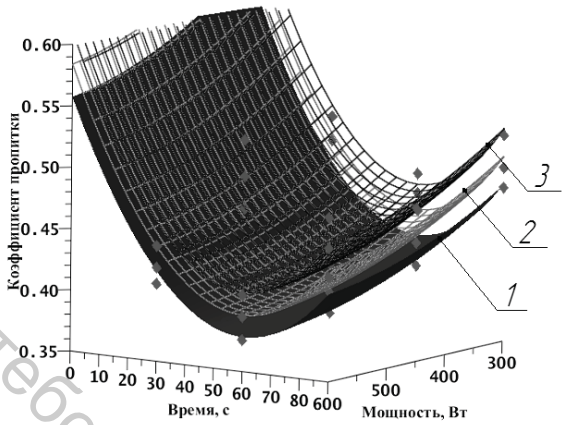


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента пропитки от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

ских зависимостей коэффициента пропитки от мощности СВЧ-излучения и времени обработки установлено, что увеличение мощности СВЧ излучения увеличивает эффективность процесса пропитки, а также определено оптимальное время воздействия СВЧ излучения, которое составляет 60 секунд.

Модели зависимостей коэффициента пропитки от мощности СВЧ-излучения и от времени обработки можно использовать для определения объемной скорости при аппретировании как многослойного, так и однослойного текстильного материала в поле СВЧ излучения. Объемная скорость течения жидкости в капиллярах зависит от вязкости жидкости, эффективного радиуса капилляров пропитываемого материала, поверхностного натяжения и величины угла смачивания. Зависимость между этими показателями описывается уравнением Пуазейля при установившемся режиме течения жидкости с учетом влияния гидростатического давления [2]

$$V = \frac{\pi r_e^4}{8\eta l}\left(\frac{2\sigma\cos\theta}{r_e} - \rho g l \sin\alpha\right), \qquad (3)$$

где V – объемная скорость течения жидкости, м^3/с; r_e – эффективный радиус, м; η – вязкость жидкости, Па · с; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; l – длина впитывания жидкости в капилляр, м; θ – краевой угол смачивания, град; σ – поверхностное натяжение, Дж/м^2; α – угол наклона капилляра к поверхности жидкости, град.

Объемная скорость может быть определена как производная объема впитанного аппрета по времени. Для нахождения объемной скорости течения жидкости в однослойном текстильном материале проведен эксперимент, в ходе которого определялась высота капиллярного поднятия аппретирующей композиции в процессе пропитки при воздействии СВЧ-излучения различной мощности. Для однослойного текстильного материала объем пропитанного участка равен произведению высоты капиллярного поднятия аппретирующей композиции на толщину материала. Зависимость объема впитанного материалом аппрета от времени (рисунок 2) вычислялась как произведение полученных моделей коэффициента пропитки на объем пропитанного участка.

Модель изменения объемной скорости вычислялась как производная по времени модели зависимости объема аппрета в материале от

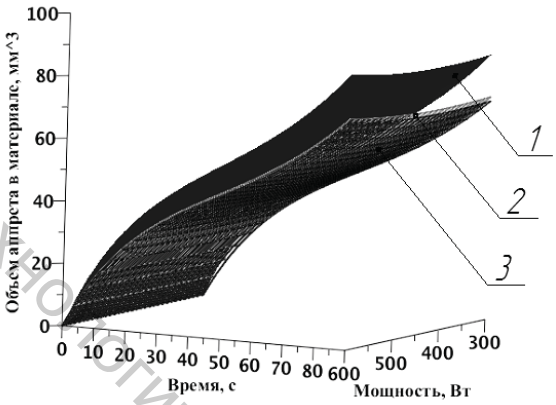


Рисунок 2 – Зависимость объема аппрета в материале от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

времени при различной концентрации. Графики полученных моделей изображены на рисунке 3. По результатам исследований разработана компьютерная программа для расчета процесса пропитки, которая позволяет определить объем впитанного аппрета при заданных значениях концентрации, мощности и времени СВЧ-излучения.

Для характеристики контактного смачивания используется величина краевого угла, то есть угла между поверхностями жидкости и твердого

Витебский государственный технологический университет

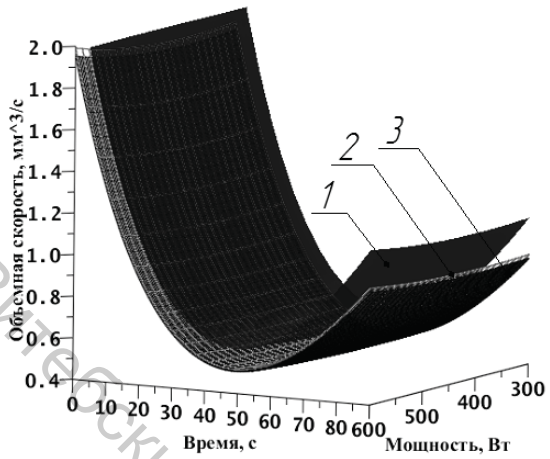


Рисунок 3 – Зависимость объемной скорости от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

тела на границе с окружающей средой.

Если молекулы жидкости взаимодействуют с молекулами твердого тела сильнее, чем между собою, то жидкость будет растекаться по поверхности или, как говорят, смачивать ее. Растекание будет происходить до тех пор, пока жидкость не покроет всю поверхность твердого тела или пока слой жидкости не станет мономолекулярным. Такой случай называется полным смачиванием. Он наблюдается при нанесении капли воды на поверхность чистого стекла.

Если молекулы жидкости взаимодействуют друг с другом значительно сильнее, чем с молекулами твердого тела, растекания не произойдет. Наоборот, жидкость соберется на поверхности в каплю, которая, если бы не действовала сила тяжести, должна была бы иметь почти сферическую форму.

Между этими двумя крайними случаями, в зависимости от соотношений интенсивности молекулярных сил, действующих, с одной стороны, между молекулами жидкости и, с другой стороны, между молекулами жидкости и твердого тела, наблюдаются переходные случаи неполного смачивания, когда капля образует с поверхностью тела определенный равновесный угол, называемый краевым углом или углом смачивания. То или иное смачивание жидкостью твердого тела можно трактовать как результат действия сил поверхностного натяжения.

Определять краевой угол непосредственно на тканях или пучках волокон затруднительно из-за шероховатости их поверхности и быстрого впитывания жидкости в волокнистую систему. Существующие методики не позволяют точно определить краевой угол на поверхности ткани, поэтому в работе использовалось значение краевого угла, которое экспериментально определялось через максимальную высоту капиллярного подъема h_{max} для эталонного капилляра известного радиуса R.

Максимальная высота капиллярного подъема h_{max} уменьшается с повышением температуры, то есть с повышением температуры уменьшается поверхностное натяжение σ. Максимальный капиллярный подъем и поверхностное натяжение находятся в прямой зависимости, что следует из уравнения Жюрена [2]:

$$h_{max} = \frac{2\sigma \cos\theta}{Rg\rho}, \qquad (4)$$

где h_{max} – максимальная высота капиллярного подъема, м; σ – поверхностное натяжение, Дж/м^2; θ – краевой угол, рад, R – радиус капилляра, м; g – ускорение свободного падения, м/с^2; ρ – плотность аппрета, кг/м^3.

Из уравнения Жюрена (4) получена зависимость для определения краевого угла θ:

$$\cos\theta = \frac{h_{max} Rg\rho}{2\sigma}. \qquad (5)$$

По результатам эксперимента построены графические зависимости краевого угла от времени и мощности СВЧ излучения при различной концентрации аппретирующего состава, представленные на рисунке 4.

Полученные зависимости позволяют сделать вывод о том, что увеличение концентрации аппретирующего состава вызывает уменьшение краевого угла и увеличение скорости изменения краевого угла при нагреве аппрета. Увеличение мощности СВЧ-излучения приводит к заметному уменьшению краевого угла. С течением времени краевой угол уменьшается и стремится к некоторому постоянному значению.

Для определения зависимости поверхностного натяжения от времени, мощности СВЧ и концентрации аппрета был проведен эксперимент, в котором исследовался аппретирующий

Витебский государственный технологический университет

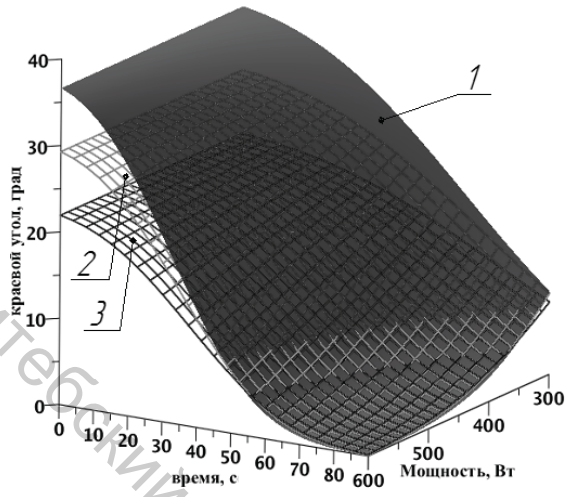


Рисунок 4 – Зависимость краевого угла от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

состав с концентрациями 100 г/л, 200 г/л и 300 г/л. Поверхностное натяжение при различной температуре определялось сталагмометрическим методом, который основан на измерении веса капли, отрывающейся под действием силы тяжести от плоской поверхности торцевого среза капилляра. В момент отрыва капли от конца вертикальной трубки вес капли q равен силе поверхностного натяжения F, которая действует вдоль окружности шейки капли, равной $2\pi r_0$, где r_0 радиус капилляра [3]

$$F = q = 2\pi r_0 \sigma. \quad (6)$$

По результатам эксперимента получена математическая модель и построены графические зависимости, изображенные на рисунке 5.

В результате анализа зависимостей установлено, что в процессе нагрева аппретирующего состава поверхностное натяжение уменьшается, увеличение концентрации аппрета приводит к повышению поверхностного натяжения.

Природа вязкого течения связана с самодиффузией — переносом массы вследствие последовательных актов обмена местами между атомами (молекулами) в их тепловом движении. Вязкое течение – это термически активируемый процесс, и вязкость η обнаруживает характерную экспоненциальную зависимость от температуры. Диапазон значений η для реальных систем широк. Так, для обычных маловязких жидкостей $\eta \sim 10^{-3}$ Па с, а высоковязкие ньютоновские жидкости могут иметь в тысячи и миллионы раз более высокие значения η [4].

Для определения зависимости вязкости от времени и мощности СВЧ-излучения проведен эксперимент, в котором исследовался аппретирующий состав с концентрациями 100 г/л, 200 г/л и 300 г/л. Измерения вязкости проводились с помощью капиллярного вискозиметра по методу, основанному на определении времени, за которое известный объем жидкости истечет через

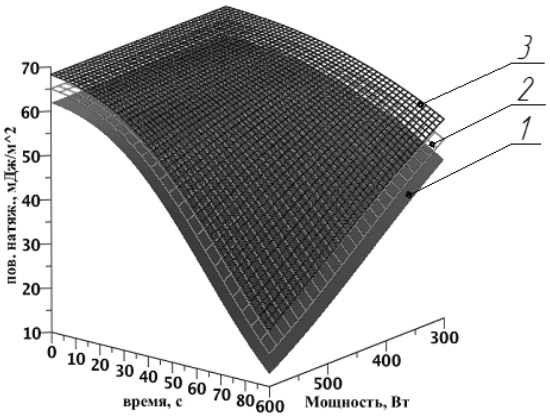


Рисунок 5 – Зависимость поверхностного натяжения от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

капилляр из измерительного резервуара. Вязкость резко изменяется с температурой, поэтому ее измерения выполнялись в термостате при постоянной температуре.

По результатам эксперимента построены графические зависимости, изображенные на рисунке 6.

Установлено, что в процессе нагрева аппретирующего состава вязкость уменьшается. Увеличение концентрации аппретирующего состава вызывает увеличение вязкости. Увеличение мощности СВЧ-излучения вызывает быстрое уменьшение вязкости аппрета для всех исследованных концентраций.

В процессе взаимодействия ткани с жидкостью может происходить набухание волокна, что приводит к изменению структуры пористого тела и усложняет процесс пропитывания. Волокни-

Витебский государственный технологический университет

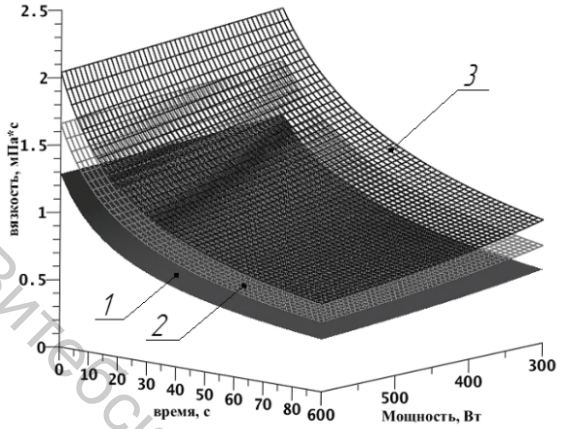


Рисунок 6 – Зависимость вязкости от времени и мощности при концентрациях аппрета: 1 – 100 г/л; 2 – 200 г/л; 3 – 300 г/л

стую систему нельзя рассматривать как простую сумму линейных капилляров с одинаковым поперечным сечением. Капилляры в волокнистых системах существенно отличаются от цилиндрических трубок, обычно принимаемых при выводе основных законов элементарной теории поднятия жидкости в капиллярах. Каналы между волокнами и нитями не имеют круглого сечения, причем площадь сечения по длине одного и того же канала может меняться в широких пределах [1]. Определение радиуса капилляров экспериментальным путем является сложной задачей, поэтому для упрощения исследований капиллярно-пористой структуры материала используется эффективный радиус капилляров.

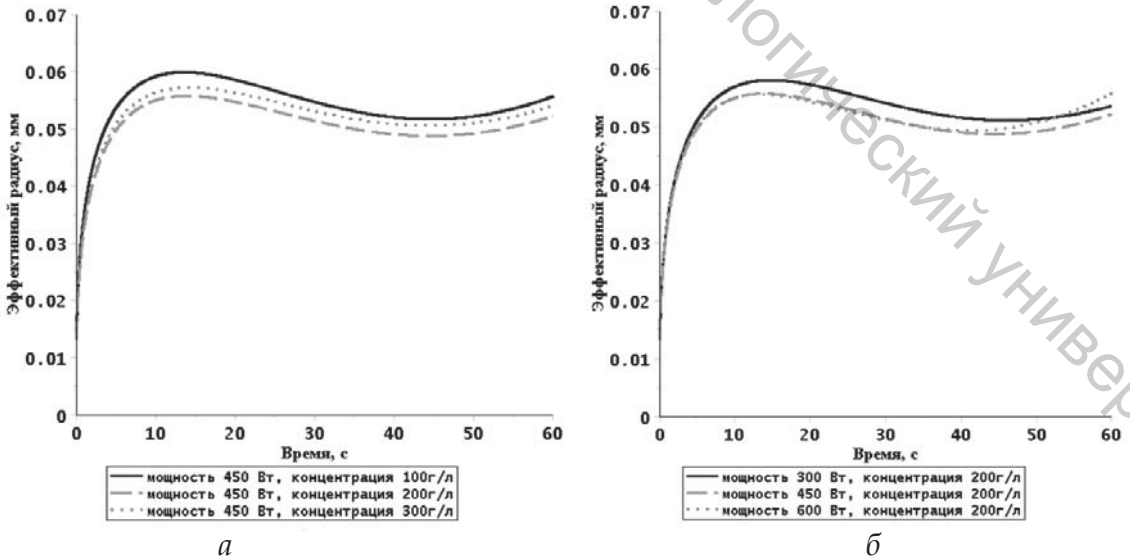
С использованием полученных математических моделей для объемной скорости, высоты капиллярного подъема, поверхностного натяжения, вязкости, угла смачивания, а также экспериментально установленных значений плотности аппрета, из формулы Пуазейля (2) были установлены математические зависимости для эффективного радиуса капилляров текстильного материала из льняных нитей в условиях воздействия СВЧ-излучения. Графики этих зависимостей изображены на рисунке 7.

ВЫВОДЫ

Для текстильных материалов из льняной пряжи установлены следующие закономерности и получены зависимости:

1. Зависимость поверхностного натяжения аппретирующей полимерной композиции от продолжительности, температуры и концентрации в условиях СВЧ-нагрева.

2. Зависимость краевого угла смачивания и скорости его изменения от температуры при различных концентрациях аппретирующего состава. Увеличение мощности СВЧ-излучения приводит к заметному уменьшению краевого



а *б*

Рисунок 7 – Изменение эффективного радиуса капилляров во время пропитки под действием СВЧ- излучения: а) при различной концентрации аппрета, б) при различной мощности СВЧ-излучения

Витебский государственный технологический университет

угла, с течением времени краевой угол уменьшается и стремится к некоторому постоянному значению.

3. Для аппретирующего состава на основе дисперсии стирол-акрилата получены экспериментальные зависимости вязкости полимера от концентрации, температуры и времени обработки в условиях воздействия СВЧ-волн. Увеличение мощности СВЧ-излучения вызывает значительное уменьшение вязкости аппрета для всех исследованных концентраций.

4. Получены зависимости высоты капиллярного поднятия аппретирующего состава и скорости пропитки волокнистого материала от мощности СВЧ-излучения, продолжительности обработки материала и концентрации аппретирующего состава, позволяющие определять рациональные режимы процесса заключительной отделки текстильных материалов из натуральных и химических волокон.

5. Установлена зависимость эффективного радиуса капилляров волокнистой системы от продолжительности воздействия и мощности СВЧ-излучения.

Витебский государственный технологический университет

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Воюцкий, С.С. (1969), Физико-химические основы пропитывания и импрегнирования волокнистых систем водными дисперсиями полимеров, Москва, Химия.

2. Браславский, В.А. (1987), Капиллярные процессы в текстильных материалах, Москва, Легпромбытиздат.

3. Ельцов, С.В., Водолазкая Н.А. (2005), Физическая и коллоидная химия, Харьков, ХНУ им. В. Н. Каразина.

4. Щукин, Е.Д., Перцов, А.В., Амелина, Е.А. (2004), Коллоидная химия, Москва, Высшая школа

REFERENCES

1. Vojuckij, S.S. (1969). Physico-chemical principles and impregnirova impregnation of fibrous systems aqueous polymer dispersion [Fiziko-himicheskie osnovy propityvanija i impregnirovanija voloknistyh sistem vodnymi dispersijami polimerov], Himija – Chemistry, 336 p.

2. Braslavskij, V.A. (1987). Capillary processes in textiles [Kapilljarnye processy v tekstil'nyh materialah], Legprombytizdat – Legprombytizdat, 112 p.

3. El'cov, S.V., Vodolazkaja, N.A. (2005). Physical and Colloid Chemistry [Fizicheskaja i kolloidnaja himija], HNU im. V. N. Karazina – KNU of V.N.Karazin, 239 p.

4. Shhukin, E.D., Percov, A.V., Amelina, E.A. (2004). Colloid chemistry : Textbook. for universities and chemical technologist. Universities [Kolloidnaja himija: Uchebnik dlja universitetov i himiko-tehnolog. Vuzov], Vysshaja shkola – Higher School, 445 p.

Статья поступила в редакцию 28. 03. 2014