

**ЗАВИСИМОСТЬ ФАКТОРА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ОТ УСЛОВИЙ ПРОВЕДЕНИЯ
ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**DEPENDENCE OF THE FACTOR OF DIELECTRIC LOSSES
TEXTILE MATERIALS
FROM CARRYING OUT CONDITIONS
CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL PROCESSES**

О.Г. ЦИРКИНА, А.Л. НИКИФОРОВ, В.Е. РУМЯНЦЕВА
O.G. TSIRKINA, A.L. NIKIFOROV, V.E. RUMYANTSEVA

(Ивановский государственный политехнический университет,
Ивановская государственная пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)
(Ivanovo State Polytechnical University,
Ivanovo Fire and Rescue Academy of The State Fire Service of EMERCOM of Russia)
E-mail: ogtsirkina@mail.ru, anikiforoff@list.ru, varrym@gmail.com

Работа посвящена обобщению полученных результатов исследований диэлектрических свойств текстильных материалов, различных по своему химическому составу. Выявлена зависимость фактора диэлектрических потерь от частоты внешнего электромагнитного поля, температуры и влажности текстильных полотен, пропитанных технологическими растворами, что позволяет сделать обоснованный выбор технических параметров обработки тканей в поле ТВЧ для различных технологических процессов отделочного производства.

This research is devoted to generalization of results of the dielectric properties of textile materials different on the chemical composition. Dependence of a factor of dielectric losses from the frequency of an outside electromagnetic field, temperature and humidity of the textile cloths which impregnated with technological composition that allows to make a reasonable choice of technical parameters of processing of fabrics in the high frequency field for different technological processes of finishing production is revealed.

Ключевые слова: фактор диэлектрических потерь, текстильные материалы, поле токов высокой частоты, отделочное производство.

Keywords: factor of dielectric losses, textile materials, high frequency field, finishing production.

Технологические процессы облагораживания текстильных материалов в отделочном производстве основаны на использовании традиционных источников нагрева: тепловой энергии горячего воздуха, водяного пара, энергии инфракрасного излучения. Указанные способы обработки характеризуются высокими энергозатратами, инерционностью теплопередачи от источ-

ника к материалу и низким КПД. Использование энергии высокочастотных электромагнитных колебаний при реализации химико-текстильных процессов является перспективным, поскольку позволяет избежать вышеуказанных недостатков. Помимо этого обработка волокнистых материалов в поле токов высокой частоты (ТВЧ) позволяет интенсифицировать теплообмен-

ные, адсорбционные и диффузионные процессы и в ряде случаев получить более высокие качественные показатели готовых тканей [1].

Представленная работа посвящена обобщению полученных результатов исследований диэлектрических свойств текстильных материалов, различных по своему химическому составу. Выявлены зависимости величины фактора диэлектрических потерь для материалов из природной целлюлозы (хлопчатобумажных и льняных), из гидратцеллюлозных волокон (вискозных, штапельных), хлопкополиэфирных, полиэфирных и полиамидных тканей от частоты поля, температуры, качественного и количественного состава технологических растворов.

Для оценки целесообразности применения поля ТВЧ в процессах отделки текстиля использованы полученные экспериментальным путем электрофизические характеристики тканей, такие как $\operatorname{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь; ϵ – диэлектрическая проницаемость и k – коэффициент диэлектрических потерь, который представляет собой произведение $\operatorname{tg}\delta$ и ϵ , в диапазоне частот от 73 кГц до 100 МГц. Исследования проведены с использованием измерителя добротности (Q-мера) для тканей, отличающихся по химической природе, по толщине и поверхностной плотности, при различных значениях температуры и влажности, а также состава и количества нанесенных пропиточных растворов. Установлено, что изменение какого-либо из указанных параметров влечет за собой изменение значений электрофизических величин обрабатываемого материала. Данный факт затрудняет оптимизацию процесса ВЧ-обработки в целом вследствие нестабильности его протекания.

Показано, что для суровых целлюлозо-содержащих тканей, имеющих кондиционную влажность $\sim 5...6\%$, величина k не зависит от температуры ткани в диапазоне 20...160°C. Данный факт можно объяснить тем, что кратковременный нагрев воздушно-сухих материалов, на которых присутствуют воскообразные вещества, до

температур 140...160°C не приводит к сколь-нибудь значимым изменениям структуры целлюлозы. Помимо этого целлюлоза – полярный жесткоцепной полимер, следовательно, в сухом состоянии для нее характерна лишь дипольно-групповая поляризация, поэтому она плохо нагревается в поле ТВЧ [2]. Материалы из полиэфирных волокон содержат в составе макромолекул группы со средней полярностью. Для подобных полимеров основным видом поляризации является электронная, которая идет без выделения тепла, поэтому в воздушно-сухом состоянии они характеризуются низкими значениями фактора диэлектрических потерь и также слабо нагреваются в ВЧ-поле. Макромолекулы, из которых состоит полиамидное волокно, являются полярными. Для полярных диэлектриков характерна дипольно-групповая и дипольно-сегментальная поляризация. При воздействии на подобный материал поля ТВЧ его полярные элементы будут переориентироваться вдоль линий напряженности поля в соответствии с полярностью, следовательно, материалы из полиамидных волокон будут иметь большие значения фактора диэлектрических потерь.

На рис. 1 представлены зависимости значений коэффициента диэлектрических потерь k от температуры для воздушно-сухих тканей: 1 – полиамидной, 2 – хлопчатобумажной, 3 – полиэфирной. Из графиков видно, что среднеполярный полиэфирный материал имеет показатель диэлектрических потерь на порядок меньше, чем полярный полиамид. Более высокое значение k хлопчатобумажной ткани, по сравнению с полиэфирной, является следствием большей кондиционной влажности целлюлозного волокна.

Зависимости $\operatorname{tg}\delta$ текстильных материалов в воздушно-сухом состоянии от частоты поля приведены на рис. 2, где 1 – полиэфирная, 2 – хлопчатобумажная, 3 – вискозная штапельная ткани [3]. Значения $\operatorname{tg}\delta$ для всех указанных текстильных материалов максимальны на частоте, близкой к 10^8 Гц.

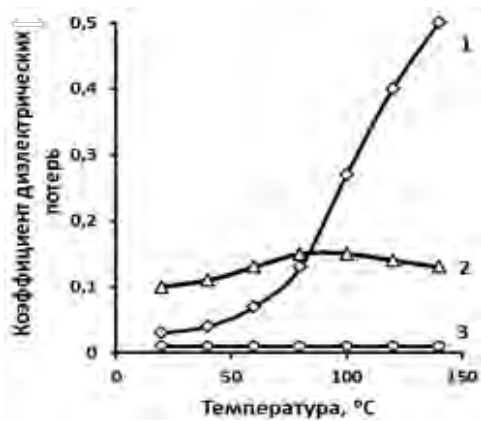


Рис. 1

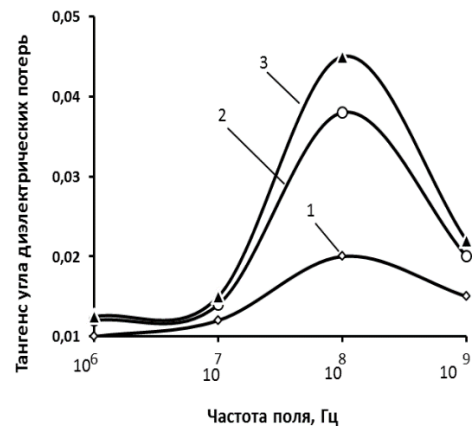


Рис. 2

Наличие экстремумов можно объяснить резонансом при совпадении частоты колебаний ВЧ-поля с собственной частотой колебаний молекул воды, содержащейся в волокне. Количество кондиционной влаги (1...12% в зависимости от природы волокна) недостаточно для того, чтобы повлиять на диэлектрические свойства тканей во всем диапазоне частот, но достаточно, чтобы проявиться на резонансной частоте воды – 10⁸ Гц. После удаления кондиционной влаги значение tgδ в точке экстремума значительно уменьшается, что подтверждает правильность предложенного объяснения.

В работе [4] показано, что частотные зависимости tgδ воздушно-сухих хлопкополиэфирных тканей, полученные в диапазоне 0,073...40,68 МГц, имеют два пика. Данный факт объясняется разным временем релаксации макромолекул полимеров, входящих в состав материала. Это приводит к образованию отдельных максимумов дипольно-групповых потерь, которые способны проявляться в стеклообразном состоянии; различен также и характер связи влаги с волокнообразующими полимерами. Однако в большинстве своем процессы отделочного производства предусматривают обработку текстильных полотен с влажностью 80...100%, поэтому систему ткань – вода можно рассматривать как полярный диэлектрик, у которого теплофизические свойства близки к волокнообразующему полимеру, а электрофизические – к воде.

Помимо наличия в текстильном материале достаточного для его разогрева в ВЧ-

поле количества влаги одним из возможных вариантов эффективного нагрева является также присутствие в составе технологического раствора полярного вещества, что обеспечит дополнительный разогрев полотна при его дальнейшей обработке в поле ТВЧ [5]. Широкое применение в отделочном производстве нашел карбамид, молекулы которого имеют полярное строение. Карбамид также является гидротропным веществом, которое обеспечивает эффективное протекание процесса внутренней диффузии низкомолекулярных веществ в волокне при термической обработке текстильных полотен. Исследования диэлектрических свойств карбамида показали, что указанное вещество имеет высокие значения tgδ, и с ростом температуры данный показатель увеличивается. При температурах 130...150 °C это изменение носит скачкообразный характер, что объясняется резким увеличением подвижности полярных групп при плавлении карбамида (T_{пл.} ~134 °C) [4]. Таким образом, введение карбамида в состав технологических растворов может значительно интенсифицировать ВЧ-нагрев текстильного материала.

Исследованы и проанализированы диэлектрические свойства материалов на разрешенных к промышленному использованию частотах – 5 МГц, 13 МГц, 27,12 и 40,68 МГц. Полученные величины фактора диэлектрических потерь $k = tg\delta \cdot \epsilon$ свидетельствуют о том, что наиболее интенсивно в ВЧ-поле нагреваются мокроотжатые (влажность 80...100%) и напечатанные (влажность 30...35%) ткани на частоте 40,68 МГц.

Величина k в данном случае имеет значения от 2 до 24 и зависит от геометрических характеристик полотна и наличия в составе технологического раствора полярных веществ, в том числе нейтральных электролитов. На частоте 27,12 МГц k при прочих равных условиях имеет более низкое значение и не превышает 18.

Для тканей, пропитанных красильными и аппретирующими составами, а также для полотен с нанесенным печатным рисунком частотные зависимости $\text{tg}\delta$ имеют более сложный вид, по сравнению с сухими и мокроотжатыми материалами. В данном случае растворы и печатные композиции содержат в составе вещества с большим количеством полярных групп, каждая из которых имеет свою резонансную частоту и соответствующий ей максимум $\text{tg}\delta$ и k .

Также выявлено, что с ростом влагосодержания в диапазоне от 40 до 100% диэлектрическая проницаемость ϵ влажных материалов изменяется от 30 до 80 единиц, в зависимости от геометрических характеристик тканей, соответственно увеличивается значение фактора диэлектрических потерь. У сухих материалов, в зависимости от их химической природы и кондиционной влажности, $\epsilon = 5...20$. Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ для сухих хлопчатобумажных тканей составляет в среднем 0,03, а для полиэфирных – 0,013. Тогда как для влажных материалов этот показатель значительно выше и равен соответственно – 0,097 и 0,077. Таким образом, значения k всегда возрастают с увеличением влажности волокнистого материала, его температуры и частоты электромагнитного поля. Анализируя значения полученных величин фактора диэлектрических потерь для тканей с различным влагосодержанием, можно аналитически проследить динамику процесса сушки влажного материала при его высокочастотном нагреве.

Полученные данные по зависимости фактора диэлектрических потерь от частоты внешнего электромагнитного поля, температуры и влажности текстильных полотен, в том числе пропитанных технологическими растворами, позволяет сделать

обоснованный выбор технических параметров обработки тканей в поле ТВЧ для различных технологических процессов отделочного производства – мощности ВЧ-генератора; конструкций и площади электродов ВЧ-аппликатора; скорости движения полотна при реализации непрерывных способов обработки.

ВЫВОДЫ

1. Выявлены зависимости величины фактора диэлектрических потерь для материалов различной химической природы от частоты поля, температуры, качественного и количественного состава технологических растворов.

2. Показано, что при ВЧ-обработке ткани с влажностью 80...100% повышение температуры материала приводит к значительному росту значений фактора диэлектрических потерь тканей, что является следствием увеличения сегментальной подвижности макромолекул волокнообразующих полимеров.

3. Полученные данные позволяют выбрать оптимальные параметры высокочастотной обработки текстильных полотен на различных этапах отделочного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Циркина О.Г., Одинцова О.И., Румянцева В.Е. Влияние условий тепловой обработки на величину коэффициентов диффузии активных красителей при реализации процесса крашения // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2017, № 1. С.134...139.
2. Никифоров А.Л., Мельников Б.Н., Циркина О.Г. Механизм активирующего воздействия электромагнитных колебаний на систему волокнообразующий полимер – технологическая композиция // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2005, № 6. С.47...51.
3. Побединский В.С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ-диапазонов. – Иваново, 2000.
4. Побединский В.С., Никифоров А.Л. Диэлектрические свойства текстильных материалов // Деп. в ЦНИИТЭЛепром 25.04.88. №2416-ЛП88. – Иваново, 1988. С.25.

5. Сажин Б.И. Электрические свойства полимеров. – Л.: Химия, 1986.

REFERENCES

1. Cirkina O.G., Odincova O.I., Romyanceva V.E. Vliyaniye usloviy teplovoj obrabotki na velichinu koeffitsientov diffuzii aktivnykh krasitelej pri realizatsii processa krasheniya // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2017, № 1. S.134...139.

2. Nikiforov A.L., Melnikov B.N., Cirkina O.G. Mehanizm aktiviruyushhego vozdejstviya elektromagnitnykh kolebanij na sistemu voloknoobrazuyushij polimer – tehnologicheskaya kompozitsiya // Izv. vuzov. Tehnologiya tekstilnoj promyshlennosti. – 2005, № 6. S.47...51.

3. Pobedinskij V.S. Aktivirovaniye processov otdelki tekstilnykh materialov energiej elektromagnitnykh voln VCh, SVCh i UF-diapazonov. – Ivanovo, 2000.

4. Pobedinskij V.S., Nikiforov A.L. Dielektriicheskie svoystva tekstilnykh materialov // Dep.v CNIITE-Legprom 25.04.88. №2416-LP88. – Ivanovo, 1988. S.25.

5. Sazhin B.I. Elektricheskie svoystva polimerov. – L.: Himiya, 1986.

Рекомендована кафедрой химии, экологии и микробиологии ИВГПУ. Поступила 03.11.17.