

УДК 677.027

**ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ  
НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ  
АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ  
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА КРАШЕНИЯ**

**INFLUENCE OF THERMAL TREATMENT CONDITIONS  
ON THE DIFFUSION RATE OF ACTIVE DYES  
IN THE COURSE OF DYEING**

*О.Г. ЦИРКИНА, О.И. ОДИНЦОВА, В.Е. РУМЯНЦЕВА*  
*O.G. TSIRKINA, O.I. ODINTSOVA, V.E. RUMYANTSEVA*

(Ивановский государственный политехнический университет,  
Ивановский государственный химико-технологический университет)  
(Ivanovo State Polytechnical University,  
Ivanovo State University of Chemistry and Technology)  
E-mail: ogtsirkina@mail.ru

*В работе смоделированы непрерывные способы крашения целлюлозных материалов активными красителями, на основе чего проанализированы процессы диффузии красителей в целлюлозу под действием поля токов высокой частоты (ТВЧ) и при традиционных способах тепловой обработки. Рассчитаны коэффициенты диффузии красителей, величина которых свидетельствует о значительном увеличении скорости процесса при обработке целлюлозных материалов в поле ТВЧ. Показано влияние состава красильного раствора на скорость диффузии активных красителей в целлюлозу при различных способах теплового воздействия и показатели качества окрашенных тканей.*

*The process of cellulose materials dyeing by the active dyes is simulated on the basis of what processes of dyes diffusion in cellulose under the influence of high frequency field and in case of traditional methods of thermal treatment are analyzed. Diffusion factors of dyes are calculated. Their values demonstrate the significant increase in speed of process when processing cellulose materials in the high frequency field. Influence of composition of tinctorial solution on the speed of active dyes diffusion in cellulose in case of different methods of thermal influence and figures of merit of the colored fabrics are shown.*

**Ключевые слова:** активные красители, крашение, диффузия, коэффициент диффузии, поле токов высокой частоты.

**Keywords: the active dyes, dyeing, diffusion, diffusion factor, high frequency field.**

Настоящий этап исследования посвящен экспериментальному подтверждению теоретически выведенных закономерностей, характеризующих влияние поля токов высокой частоты (ТВЧ) на скорость процесса крашения целлюлозосодержащих тканей. На основе анализа кинетики процесса, диффузионной проницаемости в целлюлозу активных красителей и условий обработки, выявлено влияние различных внешних факторов на показатели качества окрашенных тканей.

С теоретической точки зрения рассмотрены основные физико-химические процессы, протекающие в целлюлозном материале на этапах крашения с использованием в качестве интенсифицирующего фактора поля токов высокой частоты. Как было показано ранее [1], уровень сегментальной подвижности макромолекул целлюлозы оказывает значительное влияние на степень структурного упорядочения, протекающего в полимере. Помимо этого следствием увеличения подвижности сегментов является и изменение диффузионной проницаемости полимерного материала по отношению к различным препаратам, используемым в текстильной химии, в том числе и к красителям. В работе [2] также содержатся сведения, свидетельствующие об эффективности воздействия энергии ВЧ-поля на состояние красителей в растворе и скорости их фиксации волокном. В связи с этим целесообразно более подробно изучить процесс диффузии и определить коэффициенты диффузии активных красителей в целлюлозу под действием поля ТВЧ.

Изучен процесс диффузии активного красителя в целлюлозу при реализации крашения, а также характер его взаимодействия с полимером. При проведении эксперимента использовали многослойную целлофановую мембрану, в середину которой помещали пропитанную красильным раствором инертную подложку – стеклоткань. Изготовленные таким образом «пакеты» обрабатывали в поле ТВЧ, а также для сравнения – в среде насыщенного водяного пара

и горячего воздуха. Первоначально эксперимент проводили в отсутствии щелочного агента для исключения влияния химической реакции красителя с активными центрами целлюлозы на его распределение по слоям целлофановой мембраны и на величину коэффициентов диффузии. В качестве примера на рис. 1 приведены графики изменения концентрации красителя активного ярко-красного СТ в слоях целлофановой мембраны при крашении, где: 1 – ВЧ-обработка, 2 – термообработка, 3 – запаривание. Из графиков видно, что скорость и глубина проникновения молекул активного красителя в целлюлозу при ВЧ-обработке значительно превышает традиционные способы фиксации.

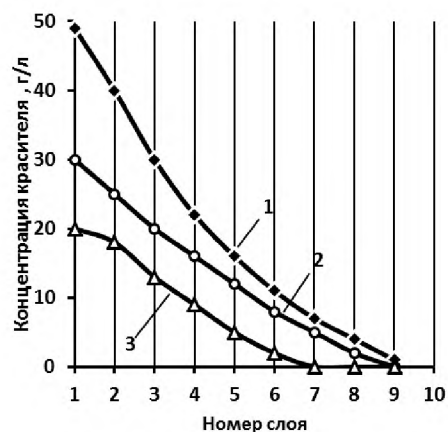


Рис. 1

В соответствии с методикой [3] и исходя из полученных концентрационных профилей для активных красителей различных марок проведен расчет их коэффициентов диффузии. Коэффициенты диффузии красителей с различной степенью химической активности приведены на рис. 2: рис. 2-а – действие поля ТВЧ, где 1 – активный золотисто-желтый 2КХ; 2 – активный ярко-красный СТ; 3 – активный ярко-красный 5С; рис. 2-б – традиционные способы тепловой обработки, где 1 и 1' – активный ярко-красный СТ при термообработке и запаривании; 2 и 2' – активный ярко-красный 5С при термообработке и запаривании соответственно.

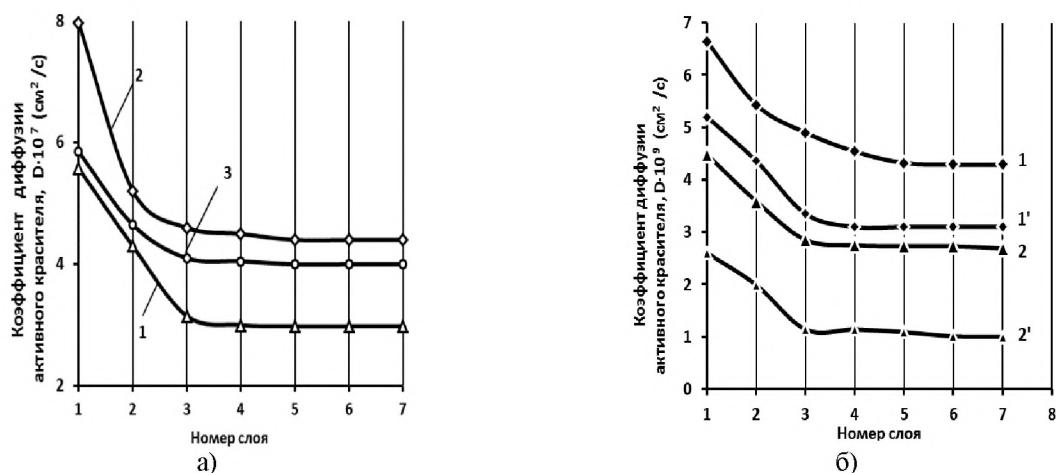


Рис. 2

Прежде всего обращает на себя внимание тот факт, что при ВЧ-обработке коэффициенты диффузии на два порядка выше, нежели в традиционных способах. Столь резкое увеличение скорости внутренней диффузии красителя в волокне связано с повышением сегментальной подвижности макромолекул целлюлозы и с возрастанием кинетической энергии движущихся частиц красителя под влиянием энергии поля ТВЧ [1], [2]. Следует отметить, что значения коэффициентов диффузии активных красителей в целлюлозу для отдельно взятых слоев целлофановой мембраны уменьшаются при переходе от первого слоя к третьему, а да-

лее выходят на постоянное значение. Это связано с уменьшением градиента концентрации красителя по мере удаления слоев от питающей подложки.

Приведенные на рис. 1 и рис. 2 зависимости коэффициентов диффузии активных красителей получены в условиях, не осложненных их фиксацией на активных центрах целлюлозы, то есть в отсутствии щелочного агента. При наличии щелочного агента величина коэффициентов диффузии несколько снижается, но при ВЧ-обработке их значения также на два порядка выше, нежели в традиционных способах.

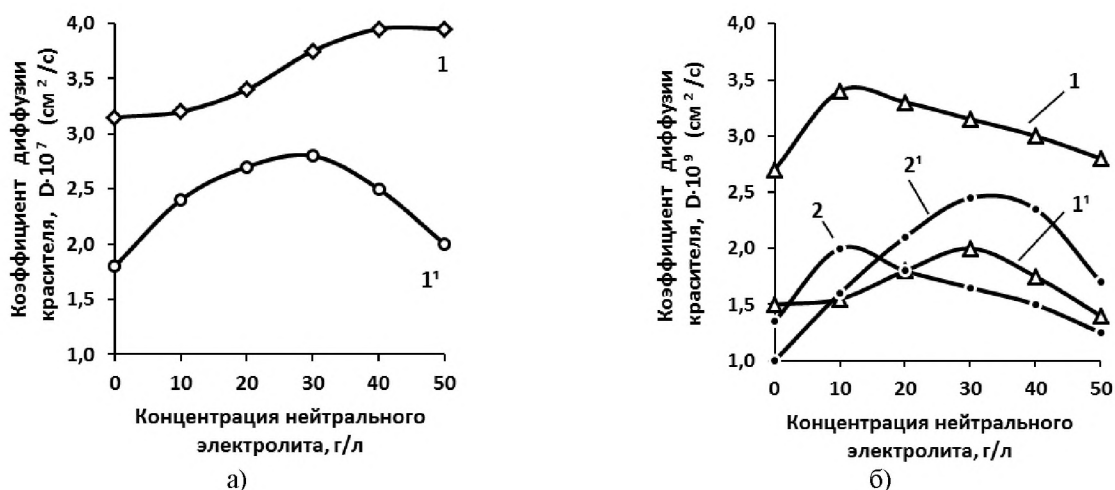


Рис. 3

Поскольку одним из компонентов красильного раствора при использовании активных красителей является нейтральный

электролит, на примере красителя активного оранжевого 5К (рис. 3) были определены

лены коэффициенты диффузии при различных концентрациях хлорида натрия в отсутствии щелочного агента (кривые 1, 2) и при его наличии (кривые 1' и 2') в красильном растворе. При этом обработка осуществлялась в поле ТВЧ (кривые 1 и 1', рис. 3-а), термофиксацией (кривые 1 и 1', рис. 3-б) и запариванием (кривые 2 и 2', рис. 3-б). То есть во всех приведенных случаях кривые 1 и 2 характеризуют диффузию, не осложненную фиксацией красителя на активных центрах целлюлозы, а кривые 1' и 2' – осложненную диффузию, сопровождающуюся образованием химической связи красителя с гидроксильными группами целлюлозы. Из хода кривых видно, что для традиционных способов обработки зависимость коэффициентов диффузии от концентрации нейтрального электролита носит экстремальный характер, в то время как характер изменения коэффициента диффузии при ВЧ-обработке различен для процессов, осложненных и не осложненных фиксацией красителя на активных центрах.

Возрастание величины коэффициента диффузии в отсутствие фиксации на активных центрах (рис. 3-а, кривая 1) можно объяснить повышением количества сорбированного красителя на поверхности целлю-

лозного материала и, следовательно, увеличением концентрационного градиента в субстрате, что приводит к ускорению процесса внутренней диффузии. Подобная закономерность наблюдается и для процессов, описываемых восходящими участками кривых на рис. 3-а (кривая 1') и рис. 3-б (кривые 1 и 1'; 2 и 2'). Однако, начиная с критической концентрации электролита, образуется ниспадающая ветвь кривых. В случаях 1 и 2 (рис. 3-б) это объясняется увеличением склонности красителя к образованию ассоциатов; а в случаях 1' (рис. 3-а) и 1', 2' (рис. 3-б) – образованием прочных химических связей между молекулами красителя и активными центрами целлюлозного материала, то есть химической реакцией.

Одним из основных компонентов красильных растворов при использовании активных красителей по традиционным технологиям является мочевины, поскольку ее присутствие в ткани в виде расплава обеспечивает быстрое проникновение молекул красителя в структуру волокна. В связи с этим представляло особый интерес выявление влияния концентрации мочевины на величину коэффициентов диффузии активных красителей (активного оранжевого 5К) при высокочастотном и традиционных способах их фиксации (рис. 4).

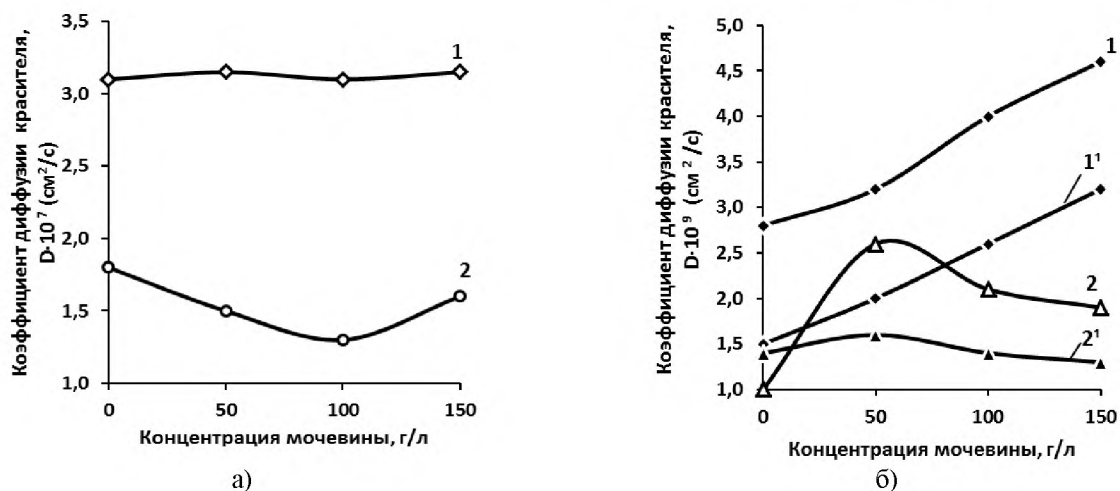


Рис. 4

Рис. 4-а демонстрирует, что при ВЧ-обработке введение в пропиточный состав различного количества мочевины не отра-

жается на величине коэффициента диффузии. А для случаев высокотемпературной фиксации (рис. 4-б, кривые 1 и 1') и обра-

ботки в среде насыщенного пара (рис. 4-б, кривые 2 и 2') зависимость коэффициентов диффузии от концентрации мочевины очевидна. Это можно объяснить тем, что влияние мочевины на скорость диффузии красителя в традиционных способах обусловлено ее диспергирующим действием на краситель в красильных растворах и пластифицирующим влиянием на полимерный материал при термообработке в течение

90...120 с. В случае же ВЧ-обработки, идущей в течение 6...8 с, мочевины не успевает перейти в расплавленное состояние, а ее функции полностью выполняет электромагнитное излучение.

В табл.1 приведены колористические показатели окрасок ткани бязь активными красителями при различных способах их фиксации: для термофиксационного способа – в присутствии мочевины; для ВЧ-способа – без мочевины.

Т а б л и ц а 1

Краситель	Вид тепловой обработки	Содержание красителя на волокне, г/кг	Количество ковалентно-фиксированного красителя, %	k/S	Устойчивость окраски к стирке
Активный ярко-красный 2СХ	Термофиксация 150°С, 2 мин	38,5	67,2	16,9	4-5/5
	ВЧ-обработка, 8 с	36,3	64,5	15,5	4-5/5
Активный ярко-красный 5С	Термофиксация 150°С, 2 мин	27,5	83,3	19,9	4-5/5
	ВЧ-обработка, 8 с	25,7	79,5	19,7	4-5/5

Таким образом, полученные в ходе представленного исследования данные подтверждают тот факт, что при реализации процессов ВЧ-крашения тканей активными красителями от введения мочевины в красильный раствор можно полностью отказаться [4].

## ВЫВОДЫ

1. Смоделированы непрерывные способы крашения целлюлозных материалов и проанализированы процессы диффузии в целлюлозу активных красителей при традиционных способах тепловой обработки и под действием поля токов высокой частоты.

2. Рассчитаны коэффициенты диффузии активных красителей для процессов крашения ( $D \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$  – при запаривании и термообработке;  $D \cdot 10^{-7} \text{ см}^2/\text{с}$  – при ВЧ-фиксации), величина которых свидетельствует о значительном увеличении скорости крашения при обработке целлюлозных материалов в поле ТВЧ.

3. Показано влияние состава красильного раствора на скорость диффузии активных красителей в целлюлозу при различных способах теплового воздействия на материал и показатели качества окрашенных тканей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Побединский В.С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ-, СВЧ- и УФ-диапазонов. – Иваново, 2000.
3. Методы исследования в текстильной химии / Под ред. Г.Е. Кричевского. – М., 1993.
4. Удалов М.В., Циркина О.Г., Никифоров А.Л. Использование энергии электромагнитных колебаний для фиксации активных бифункциональных красителей на целлюлозосодержащих материалах // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2010, №2. С.73...77.

## REFERENCES

1. Nikiforov A.L., Mel'nikov B.N., Cirkina O.G. Mehanizm aktivirujushhego vozdejstvija jelectromagnitnyh kolebanij na sistemu voloknoobrazujushhij polimer – tehnologicheskaja kompozicija // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2005, № 6. S.47...51.

2. Pobedinskij V.S. Aktivirovanie processov otdelki tekstil'nyh materialov jenergiej jelectromagnitnyh voln VCh-, SVCh- i UF-diapazonov. – Ivanovo, 2000.

3. Metody issledovanija v tekstil'noj himii / Pod red. G.E. Krichevskogo. – M., 1993.

4. Udalov M.V., Cirkina O.G., Nikiforov A.L. Ispol'zovanie jenerгии jelectromagnitnyh kolebanij dlja fiksacii aktivnyh bifunkcional'nyh krasitelej na celljulozosoderzhashhijh materialah // Izv. vuzov. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti. – 2010, №2. S.73...77.

Рекомендована кафедрой химии, экологии и микробиологии ИВГПУ. Поступила 04.02.17.

---