

УДК 66.011

**ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ
НА КИНЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ
В ПРОЦЕССЕ ПРОМЫВКИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНОЙ ТКАНИ**

**INFLUENCE OF ELECTRIC DISCHARGES
ON THE KINETIC COEFFICIENTS
IN THE WASHING PROCESS OF COTTON FABRIC**

М.К. КОШЕЛЕВА, С.П. РУДОБАШТА, В.Т. КАЗУБ, М.З. ЦИНЦАДЗЕ
M.K. KOSHELEVA, S.P. RUDOBASHTA, V.T. KAZUB, M.Z. TSINTSADZE

**(Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),
Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева,
Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал Волгоградского государственного медицинского университета)**

**(Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),
Russian State Agrarian University – MTAА named after K.A. Timiryazev,
Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute,
branch of the Volgograd State Medical University)**

E-mail: oxtpaxt@yandex.ru; rudobashta@mail.ru; bukva46@mail.ru; marinatsin@mail.ru

Проведены экспериментальное исследование и количественная оценка влияния электрических разрядов в жидкости, инициируемых импульсами высокого напряжения на кинетические коэффициенты в процессе промывки

типовой легкой хлопчатобумажной ткани после мерсеризации. Установлено, что кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности возрастают при воздействии электрических разрядов на промывной раствор. Полученные результаты могут применяться при кинетических расчетах процесса промывки легких хлопчатобумажных тканей после мерсеризации.

An experimental study and quantitative assessment of the effect of electrical discharges in the liquid, initiated by high voltage pulses, on the kinetic coefficients in the washing process of a typical light cotton fabric after mercerization are carried out. It is established that the kinetic coefficients of mass transfer and mass conductivity increase under the influence of electrical discharges on the wash solution. The obtained results can be used in kinetic calculations of the process of washing light cotton fabrics after mercerization.

Ключевые слова: отделка тканей, промывка, электрический разряд, импульсы высокого напряжения, кинетика, массопроводность, массоотдача.

Keywords: fabric finishing, washing, electric discharge, high voltage pulses, kinetics, mass conductivity, mass transfer.

Целью работы является изучение и количественная оценка влияния электрических разрядов в жидкости, инициируемых импульсами высокого напряжения, на кинетические коэффициенты в процессе экстрагирования технологического загрязнения из легкой типовой хлопчатобумажной ткани при ее промывке после мерсеризации.

В химической технологии отделки тканей их промывка от различных технологических загрязнений является во многом определяющей качество готового материала и весьма энергоресурсоемкой операцией, которая сопровождает практически каждую технологическую операцию химической технологии отделки тканей [1]. Повышение эффективности процесса промывки за счет его интенсификации является актуальной задачей, поскольку ее решение позволяет снизить расход чистой промывной воды и химических реагентов, в частности, поверхностно-активных веществ, количество сточных вод, энергозатраты на проведение процесса [1], [2].

Известно, что воздействие электрических разрядов позволяет интенсифицировать процессы экстрагирования различных веществ из растительного сырья, что показано в ряде работ [3...5].

Имеются отдельные публикации по интенсификации процессов экстрагирования технологических загрязнений из волокнистых материалов, например, в первичной переработке шерсти. В [6] утверждается, что в первичной обработке шерсти (при ее мойке) под действием электрических разрядов в жидкости скорость процесса промывки ускоряется в десятки раз при сокращении расхода химических реагентов в два-три раза и при более чем трехкратном снижении затрат. Однако в [6] не приводятся результаты исследования кинетики массообменного процесса экстрагирования (промывки) и количественная оценка его интенсификации.

В работе изучена кинетика процесса промывки легкой хлопчатобумажной ткани после мерсеризации (экстрагирования щелочи) при воздействии электрических разрядов, инициируемых импульсами высокого напряжения в промывном растворе, и их влияние на кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности в процессе экстрагирования гидроксида натрия.

Объектом исследования являлась типовая легкая хлопчатобумажная ткань с поверхностной плотностью $M = 0,150 \text{ кг/м}^2$ с толщиной $2R = 0,00053 \text{ м}$ (R – половина толщины ткани); пористость ткани, $\varepsilon = 0,68 \text{ м}^3/\text{м}^3$,

равновесное влагосодержание $\bar{u}_p = 0,00547 \text{ кг/кг}$ [1], [2]. Промывка ткани проводилась от гидроксида натрия после ее мерсеризации.

Экспериментальные исследования проводились в лабораториях кафедры физики Пятигорского медико-фармацевтического института – филиала ВолгГМУ – и в лаборатории общей химической технологии кафедры промышленной экологии и безопасности РГУ имени А.Н. Косыгина. Для инициирования электрического разряда в водных промывных растворах, обладающих достаточно высокой проводимостью, использовался импульс высокого напряжения с коротким фронтом и ограниченной длительностью. Разработанный и изготовленный в Пятигорском медико-фармацевтическом институте на кафедре физики высоковольтный генератор позволял получать импульс напряжения амплитудой до 50 кВ с фронтом $t_f=0,1$ мкс и длительностью импульса $t_n=0,8$ мкс [3]. Модельная экспериментальная установка представляет собой промывную ванну цилиндрической формы объемом 0,5 л, изготовленную из полиэтилена низкого давления. В крышку и дно ванны встроены электроды. Исследуемый образец ткани размещался вокруг электродов в ванне, заполненной водой. При проведении опытов варьировались величины межэлектродного промежутка, амплитуда импульса напряжения, частота разрядов, их количество, а также время обработки. Расстояние от образца ткани до канала разряда, формирующего кавитацию и пульсирующую ударную волну, было неизменным.

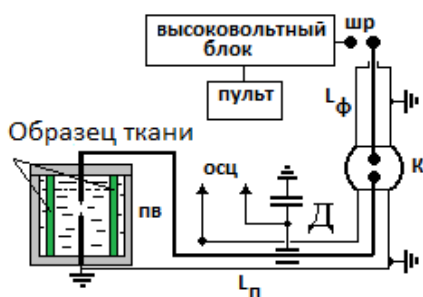


Рис. 1

Схема экспериментальной лабораторной установки представлена на рис. 1, где ПВ – промывная ванна; ШР – шаровой раз-

рядник; L_ϕ – формирующая линия; L – передающая линия; K – коммутатор; D – делитель напряжения.

Промывка хлопчатобумажной ткани в опытах осуществлялась от гидроксида натрия, поскольку ткань в производстве обрабатывается щелочью в процессе мерсеризации. Концентрацию щелочи определяли методом обратного титрования [1]. На кафедре материаловедения и товарной экспертизы РГУ имени А.Н. Косыгина были проведены испытания основных прочностных характеристик исследованной ткани. Полученные результаты подтвердили, что все показатели после промывки соответствуют требованиям ГОСТ [7].

На рис. 2 приведены кинетические кривые промывки исследуемой хлопчатобумажной ткани от щелочи без воздействия электрических разрядов в промывном растворе (1), и с их воздействием (2).

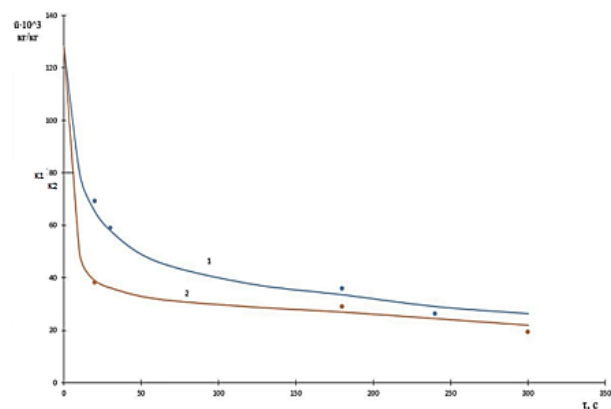


Рис. 2

На кривых кинетики промывки наблюдаются два периода процесса (их разграничивает критическая точка K), при этом воздействие электрических разрядов вызывает интенсификацию процесса как в первом периоде, так и во втором периоде промывки. Анализ кинетических кривых, представленных на рис. 2, показывает, что сокращение времени достижения допустимой по ГОСТ концентрации щелочи в ткани составляет более 33 %.

На рис. 3 представлена зависимость степени промывки объекта исследования от гидроксида натрия без использования интенсификатора (1) и с использованием в ка-

честве интенсификатора электрических разрядов (ЭР) (2).

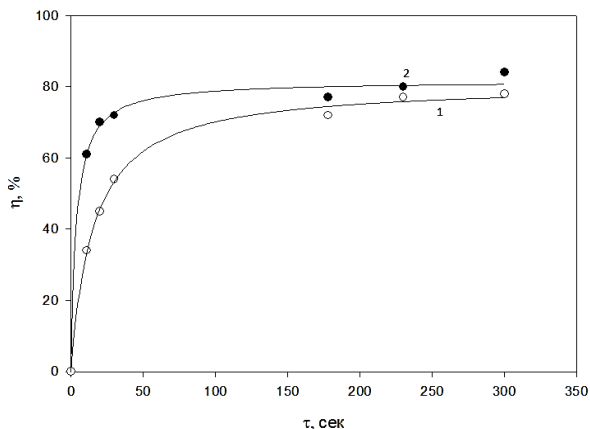


Рис. 3

То, что воздействие электрического разряда вызывает интенсификацию процесса промывки как в первом периоде, так и во втором, должно найти отражение в значениях кинетических коэффициентов массоотдачи и массопроводности, необходимых для количественной оценки интенсификации. Обработкой кривых кинетики промывки были найдены значения кинетических коэффициентов.

В [8] разработан модифицированный метод определения коэффициента массоотдачи β_c и зависимости $k=f(\bar{u})$ из кинетической кривой процесса, содержащей оба периода, не требующий в последнем случае исключения внешнего диффузионного сопротивления. Здесь k – коэффициент массопроводности, m^2/c ; \bar{u} – среднеобъемное массосодержание материала, (кг распределяемого вещества)/(кг твердой фазы). Расчет кинетических коэффициентов проводился с использованием данного метода. Сначала определяли коэффициент массоотдачи, затем находилась зависимость $k=f(\bar{u})$ [8]. По этой методике были обработаны кривые

кинетики промывки, приведенные на рис. 2. Расчеты проводились в системе Mathcad.

Как отмечено выше, на кривых кинетики промывки без интенсификации и с интенсификацией электрическими разрядами наблюдаются два периода процесса.

Из линейного участка кривых кинетики, на котором процесс контролируется внешней диффузией и, следовательно, подчиняется уравнению массоотдачи (критическое массосодержание $\bar{u}_{кр}$ согласно рисунку принято равным 0,08838 и 0,0838 кг/кг сухого материала – соответственно без электрических разрядов (ЭР) и с таковыми, – были найдены приведенные в табл. 1 (коэффициенты массоотдачи при промывке без интенсификации и с воздействием электрических разрядов (ЭР)) истинные коэффициенты массоотдачи β_c , м/с [8].

Таблица 1

Промывка	без ЭР	с ЭР
β_c , м/с	$1,377 \cdot 10^{-5}$	$2,55 \cdot 10^{-5}$

Экспериментальное исследование показало, что воздействие электрических разрядов увеличивает коэффициент массоотдачи в данном случае в 1,85 раза.

Коэффициенты массопроводности (диффузии) k , m^2/c , приведенные в табл. 2 (расчет коэффициентов массопроводности k зональным методом для легкой хлопчатобумажной ткани при промывке с ЭР) и в табл. 3 (расчет коэффициентов массопроводности k зональным методом для легкой хлопчатобумажной ткани при промывке без воздействия ЭР), определяли, разбивая кривые кинетики промывки при $\bar{u} < \bar{u}_{кр}$ на интервалы, в которых значение коэффициентов считается постоянным (интервалы приведены в таблицах).

Таблица 2

Номер концентрационной зоны	1	2	3
$(\bar{u}_{н.і} - \bar{u}_{к.і}) \cdot 10^3$, кг/кг сухого материала	0,0838...0,03062	0,03062...0,02535	0,02535...0,01925
$k_i \cdot 10^{10}$, m^2/c	4,862	0,937	0,711
Vi_m	20,4	106,0	139,5

Таблица 3

Номер концентрационной зоны	1	2	3
$(\bar{u}_{н.і} - \bar{u}_{к.і}) \cdot 10^3$, кг/кг сухого материала	0,08838...0,04375	0,04375...0,03767	0,03767...0,02710
$k_i \cdot 10^{10}$, м ² /с	3,351	0,682	0,498
Vi_m	16,0	78,7	108,0

В табл. 4 приведены результаты сравнения коэффициентов массопроводности при промывке исследованного волокнистого

материала без интенсификации и с интенсификацией воздействием электрических разрядов.

Таблица 4

Номер концентрационной зоны	1	2	3	
$k \cdot 10^{10}$, м ² /с	без ЭР	3,351	0,682	0,498
$k \cdot 10^{10}$, м ² /с	с ЭР	4,862	0,937	0,711

Как видно из табл. 4, коэффициенты массопроводности при промывке ткани имеют порядок 10^{-10} , что согласуется по порядку величины со значениями этого коэффициента при экстрагировании целевых компонентов из твердой фазы. С уменьшением концентрации загрязнений он несколько снижается. Это объясняется тем, что по мере развития процесса экстрагируются вещества, более прочно связанные со структурой твердого материала [1], [8], [9]. При промывке с интенсификатором ЭР коэффициент массопроводности в концентрационных зонах больше, чем без него (примерно в 1,5 раза).

Возрастание всех кинетических коэффициентов указывает на то, что электрические разряды интенсифицируют не только внешний, но и внутренний массоперенос. Кавитация, возникающие акустические течения, акустическое давление и другие эффекты вызывают интенсивные турбулентные потоки как во всей массе жидкости, так и вблизи границы раздела фаз, что приводит к существенному уменьшению толщины диффузионного пограничного слоя [1], [8], [9].

Величина числа Био массообменного Vi_m указывает на то, что в рассматриваемом процессе во втором периоде реализуется смешанно-диффузионный механизм массопереноса, при котором на скорость процесса влияют как внутреннее, так и внешнее диффузионные сопротивления.

ВЫВОДЫ

Проведено экспериментальное изучение и дана количественная оценка влияния физических факторов, сопровождающих электрический разряд в жидкости, на кинетические коэффициенты массоотдачи и массопроводности в процессе промывки легкой типовой хлопчатобумажной типовой ткани после мерсеризации. Показано, что электрические разряды интенсифицируют массообмен как в первом, так и во втором периодах процесса промывки. Найденные значения кинетических коэффициентов могут быть использованы для анализа и кинетического расчета процесса промывки легких хлопчатобумажных тканей от гидроксида натрия после их мерсеризации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кошелева М.К. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах. – М.: ИНФРА-М, 2019.
2. Кошелева М.К., Шеголев А.А., Шацких С.Н., Апалькова М.С. Интенсификация процессов промывки с наложением ультразвуковых полей // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2012, №3. С.113...117.
3. Казуб В.Т. Кинетика и основы аппаратного оформления процессов электроразрядного экстрагирования биологически активных соединений: Дис...докт. техн. наук. – Тамбов, 2002.
4. Рудобаишта С.П., Казуб В.Т., Борисов А.Г. Электроразрядное экстрагирование целевых компо-

нентов из растительного сырья // Промышленная теплотехника. – 2007. Т.9, № 7. С. 206...211.

5. Патент 2692375 Российская Федерация. Устройство для получения экстракта из софоры японской / В.Т. Казуб [и др.] (РФ - №2692375; заявл. 218124418, 03.07.2018; опубл. 24.06.2019. Бюл. 18.

6. Зубенко А.А. Электроразрядная интенсификация процесса промывки шерсти // Электронная обработка материалов. – 2008, № 3. С.92...93.

7. Шустов Ю.С., Кирюхин С.М., Давыдов А.Ф. и др. Текстильное материаловедение: лабораторный практикум. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2016.

8. Рудобашта С.П., Кошелева М.К. Определение коэффициентов массоотдачи и массопроводности из кривых кинетики // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2015, № 6. С.175...180.

9. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. – М.: Колос, 2010.

REFERENCES

1. Kosheleva M.K. Protssesy i apparaty tekstil'nykh tekhnologiy v primerakh, laboratornykh rabotakh i testakh. – М.: INFRA-M, 2019.

2. Kosheleva M.K., Shchegolev A.A., Shatskikh S.N., Apal'kova M.S. Intensifikatsiya protsessov promyvki s nalozheniem ul'trazvukovykh poley // Izv.

vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2012, №3. S.113...117.

3. Kazub V.T. Kinetika i osnovy apparatnogo oformleniya protsessov elektrorazryadnogo ekstragirovaniya biologicheskii aktivnykh soedineniy: Dis....dokt. tekhn. nauk. – Tambov, 2002.

4. Rudobashta S.P., Kazub V.T., Borisov A.G. Elektrorazryadnoe ekstragirovanie tselevykh komponentov iz rastitel'nogo syr'ya // Promyshlennaya teplotekhnika. – 2007. Т.9, № 7. С. 206...211.

5. Patent 2692375 Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo dlya polucheniya ekstrakta iz sofory yaponskoy / V.T. Kazub [i dr.] (RF - №2692375; заявл. 218124418, 03.07.2018; опубл. 24.06.2019. Бюл. 18.

6. Zubenko A.A. Elektrorazryadnaya intensifikatsiya protsessa promyvki shersti // Elektronnaya obrabotka materialov. – 2008, № 3. С.92...93.

7. Shustov Yu.S., Kiryukhin S.M., Davydov A.F. i dr. Tekstil'noe materialovedenie: laboratornyy praktikum. – 3-e izd., pererab. i dop. – М.: INFRA-M, 2016.

8. Rudobashta S.P., Kosheleva M.K. Opredelenie koeffitsientov massootdachi i massoprovodnosti iz krivykh kinetiki // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2015, № 6. С.175...180.

9. Rudobashta S.P., Kartashov E.M. Diffuziya v khimiko-tekhnologicheskikh protsessakh. – М.: Kolos, 2010.

Рекомендована кафедрой промышленной экологии и безопасности РГУ имени А.Н. Косыгина. Поступила 04.02.20.