

**ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА КИНЕТИКУ
НЕПРЕРЫВНОЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ
ПЛОСКИХ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

М. К. Кошелева¹, А. В. Шалунов², О. Р. Дорняк³, М. В. Исаев¹

*Кафедра энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии
и безопасности (1), oхtraxt@yandex.ru, ФГБОУ ВО «Российский государственный
университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия;
кафедра методов и средств измерений и автоматизации (2),*

*Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский
государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Россия;
кафедра электротехники, теплотехники и гидравлики (3),
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия*

Ключевые слова: волокнистый материал; кинетика; прогнозирование; сушка; ультразвук.

Аннотация: Получены экспериментальные кинетические кривые непрерывной сушки типового плоского шерстяного волокнистого материала при различных температурных режимах и интенсификации процесса ультразвуковым воздействием. Установлено, что эффективным для исследованного объекта сушки является совместное ультразвуковое и тепловое воздействие. При этом влияние ультразвукового поля на кинетику процесса эффективнее при более низких температурах сушильного агента. Полученные данные по кинетике сушки аппроксимированы формулами, выражающими зависимость влагосодержания материала от температуры и наличия ультразвуковой интенсификации, и могут использоваться для анализа и расчета процесса.

Введение

Сушка плоских волокнистых текстильных материалов, в том числе плотных шерстяных тканей, проводится преимущественно конвективным способом в сушилках непрерывного действия [1 – 4]. Интенсификация обоснованно выбранным способом и расчет процесса сушки волокнистых материалов являются актуальными задачами в химической технологии отделочного производства текстильных предприятий [1 – 4]. Известно, что для интенсификации процесса сушки различных материалов достаточно широко используются физические поля, в том числе ультразвуковое поле [1, 2, 4, 5]. Анализ отечественных и зарубежных литературных источников показывает, что практически не проводились исследования процесса непрерывной сушки плоских волокнистых материалов, в том числе плотных шерстяных тканей с ультразвуковым воздействием для интенсификации процесса.

Цель работы – экспериментальное исследование кинетики непрерывного процесса конвективной сушки типовой плотной шерстяной ткани, интенсифицированного ультразвуковым воздействием, и аппроксимация полученных кинетических кривых.

Описание объекта сушки и экспериментальной установки

В качестве объекта сушки выбрана плотная шерстяная ткань специального назначения, состоящая из 90 % шерсти и 10 % полиамидного волокна. Поверхностная плотность ткани $M = 760 \text{ г/м}^2$, толщина $l = 2,0 \text{ мм}$, пористость $\varepsilon = 50 \%$, нормированная кондиционная влажность составляет 12,2 – 13,0 %. Сушка плотных шерстяных тканей в промышленных условиях осуществляется конвективным способом в сушильно-ширильных машинах (СШМ) и сушильно-ширильных стабилизационных машинах (СШСМ) непрерывного действия. В ходе сушки не допускается вытяжка ткани и ее усадка по ширине.

Экспериментальные исследования кинетики процесса сушки плотной шерстяной ткани с интенсификацией ультразвуковым полем проводилось в ООО «Центр ультразвуковых технологий» на базе Бийского технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Алтайского государственного технического университета им. И. И. Ползунова» на специально созданной экспериментальной установке [2].

Экспериментальный стенд разработан при выполнении исследований за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10359 (<https://rscf.ru/project/21-79-10359/>). Схема лабораторной установки представлена на рис. 1.

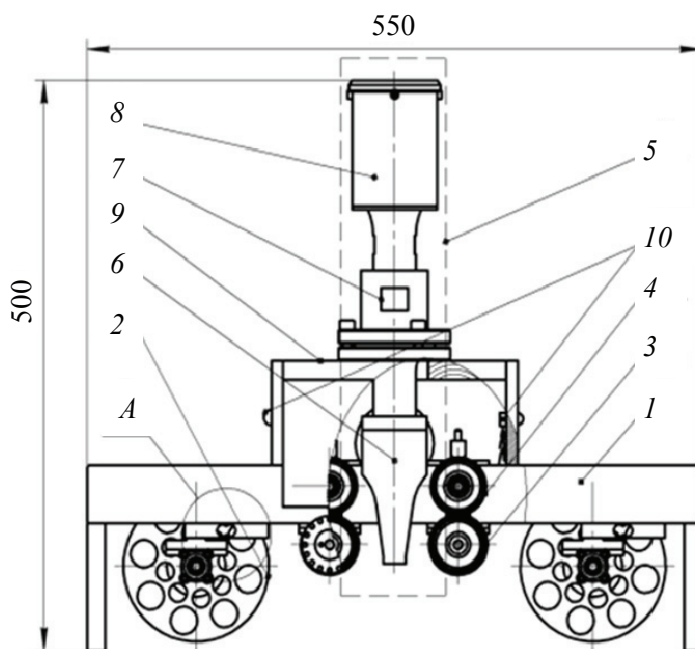


Рис. 1. Схема экспериментального стенда для исследования процесса непрерывной сушки тканей:

1 – рама; 2 – бобины для намотки ткани; 3, 4 – соответственно протяжной и прижимной ролики; 5 – ультразвуковая колебательная система; 6 – ультразвуковой рабочий инструмент; 7 – концентратор; 8 – пьезоэлектрический преобразователь; 9 – кронштейн ультразвуковой колебательной системы; 10 – форсунки для распыления жидкости

Стенд состоит из рамы 1, на которую установлены системы протяжки ткани; нагревания; колебательная для воздействия колебаниями ультразвуковой (УЗ) частоты на ткань; измерения массы ткани; орошения ткани. Система протяжки обеспечивает перемотку ткани с одной бобины на другую с возможностью регулирования силы натяжения ткани. Регулирование усилия протягивания позволяет изменять силу прижима ткани к колеблющемуся рабочему инструменту 6 ультразвуковой колебательной системы (УЗКС) 5. Система протяжки ткани состоит из двух бобин для намотки ткани 2, двух протяжных роликов 3 с приводом от мотор-редукторов, двух подпружиненных роликов 4, предназначенных для прижима протягиваемой ткани к протяжным роликам. Для регулирования натяжения ткани на валу протяжных роликов установлены фрикционные тормоза. Бобины приводятся в движение с помощью ременного привода от шкивов, установленных на осях протяжных роликов. Каждый электропривод в виде мотор-редуктора, установленного на вал каждого протяжного ролика, имеет электронную систему регулирования и поддержания постоянной скорости протяжки.

Система нагрева подаваемого воздуха состоит из последовательно установленных вентиляторной установки и электронагревателя. Нагретый воздух по газопроводу подается в область, сформированную кронштейном УЗКС 9, рамой и высушиваемой тканью. Отходящий увлажненный воздух выходит вниз через зазоры между рамой и высушиваемой тканью.

Для контактного воздействия колебаниями УЗ-частоты на ткань на раме с помощью кронштейна установлена УЗ-колебательная система. Рабочий инструмент расположен таким образом, чтобы ткань, проходящая между блоками протяжных/прижимных роликов, огибала окончание рабочего инструмента. Система стабилизации обеспечивает постоянство амплитуды колебаний рабочего инструмента при изменении внешних воздействий (изменения усилия прижима или площади соприкосновения материала с УЗ-инструментом).

Для определения содержания влаги в ткани в составе стенда предусмотрена система измерения массы объекта сушки на основе тензометрических датчиков, установленных на подшипниковых узлах бобин. Масса ткани может быть измерена только непосредственно перед началом движения (протяжки) высушиваемого материала с одной бобины на другую и обратно.

Для увлажнения ткани в процессе исследований предусмотрена система орошения ткани, состоящая из двух верхних форсунок 10, помпы для нагнетания воды, бака с водой и блока питания.

Экспериментальный стенд имеет следующие характеристики:

скорость протяжки текстильного материала, м/с	0...0,3
максимальная скорость потока воздуха на входе, м/с	8,5
максимальная температура воздуха, °С	80
расход орошаемой жидкости, г/с	0...50
усилие прижима ткани к УЗ-инструменту (давление 0,01 МПа), кг	2
максимальная измеряемая масса бобины с тканью, кг	4
максимальная ширина ткани, мм	110
максимальный объем наматываемой ткани на одну бобину (при ширине 110 мм), дм ³	3

Основные технические характеристики ультразвукового аппарата [2]:

мощность, Вт	≤ 1000
частота ультразвуковых колебаний, кГц	20
питание от сети 220, В	220 ± 22
амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм	≥ 70
размеры окончания рабочего инструмента, мм	110×20
система стабилизации установленной амплитуды колебаний	есть

Исследование кинетики процесса сушки и обсуждение результатов

На первом этапе экспериментальных исследований проводилась сушка плотной шерстяной ткани при ультразвуковом (УЗ), тепловом (Т) и комбинированном (УЗ + Т) воздействиях. Температура воздуха при тепловом и комбинированном воздействиях составляла 50 °С. Скорость потока воздуха на входе – 8,5 м/с. На втором этапе исследования ткань подвергалась сушке при тепловом (Т) и комбинированном (УЗ + Т) воздействиях, температура сушильного агента была повышена до 80 °С. Скорость потока сушильного агента на входе составляла 6 м/с.

При проведении экспериментальных исследований точность и воспроизводимость результатов измерений обеспечивались применением поверенных средств измерений с низкой инструментальной погрешностью. В процессе сушки непрерывно измерялась масса высушиваемого материала путем взвешивания бобин при помощи тензометрических датчиков, снабженных аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и системой передачи данных на компьютер.

Погрешность измерения массы для узла «тензобалка + АЦП», заявленная производителем, составляет 0,2 %. Чувствительность – 0,5 г.

Для повышения точности и уменьшения методической и инструментальной погрешностей полученные данные усреднялись на ЭВМ методом скользящего окна. Температура сушильного агента поддерживалась посредством управления мощностью нагревателя пропорционально интегрально-дифференциальным регулятором с датчиком температуры, установленным на выходе воздуховода нагревательной установки. Погрешность, заявленная производителем, составляет 0,5 %.

Расход сушильного агента контролировался посредством измерения скорости потока на выходе воздуховода нагревательной установки с помощью анемометра UNIT UT363S. Расход сушильного агента вручную регулировался посредством шиберной заслонки, установленной на входе нагревательной установки.

Предварительно проведенные пробные (трехкратное высушивание материала в течение 20 мин) эксперименты показали высокую воспроизводимость и сходимость получаемых результатов. Расхождение между результатами взвешивания высушиваемого материала в пробных экспериментах не превышало 5 %. Это позволило проводить целевые эксперименты по высушиванию материала до равновесной влажности однократно.

На рисунке 2 приведены экспериментально полученные кривые кинетики сушки плотной шерстяной ткани при различных температурах, с обдувом воздухом при разных скоростях V сушильного агента, с ультразвуковым воздействием и без интенсифицирующего воздействия.

Анализ экспериментальных кривых кинетики сушки плотной шерстяной ткани при различных видах энергетического воздействия показывает, что наиболее эффективным для данной ткани является комбинированное воздействие (УЗ + Т) при температуре сушильного агента (воздуха) 80 °С и скорости сушильного агента 6 м/с. Установлено также, что действие УЗ на кинетику процесса эффективнее при более низких температурах воздуха.

В промышленных условиях на текстильных тонкосуконных фабриках сушка плотной шерстяной ткани, как правило, проводится в СШМ и СШСМ при температуре $t = 110...145$ °С, однако есть примеры проведения процесса при $t = 50$ °С при проблемах с нагревом теплоносителя.

Использование на данных сушилках непрерывного действия ультразвуковой интенсификации позволит снизить температуру процесса сушки до 80 °С, сократить его продолжительность, что приведет к более экономному расходу электроэнергии, снижению тепловых выбросов в рабочую зону и окружающую среду и повысит экологическую и производственную безопасность.

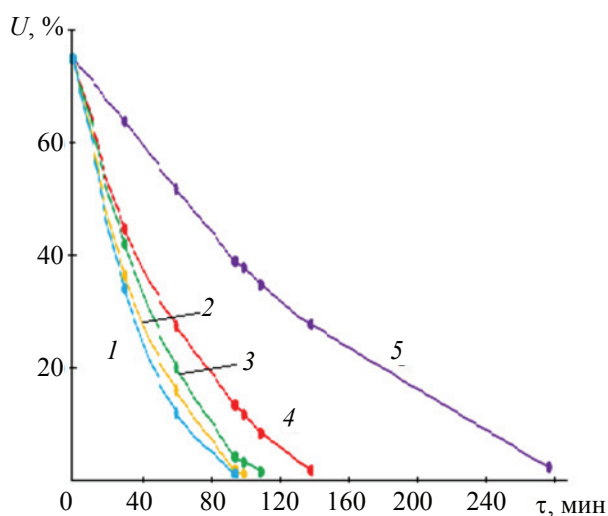


Рис. 2. Экспериментальные кривые кинетики сушки плотной шерстяной ткани при различных температурах и разных скоростях сушильного агента, с УЗ и без интенсифицирующего воздействия:
 1 – УЗ, $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 6\text{ м/с}$; 2 – УЗ, $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 8,5\text{ м/с}$; 3 – $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 6\text{ м/с}$;
 4 – $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 8,5\text{ м/с}$; 5 – УЗ, $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $V = 8,5\text{ м/с}$

В результате аппроксимации экспериментальных данных по кинетике сушки типовой плотной шерстяной ткани получено уравнение

$$U = U_0 e^{-b\tau}, \quad (1)$$

где U_0 – начальное влагосодержание ткани, кг/кг; τ – время, мин; b – коэффициент, характеризующий скорость процесса сушки

$$b = p_0 + p_1 Y + p_2 t_c. \quad (2)$$

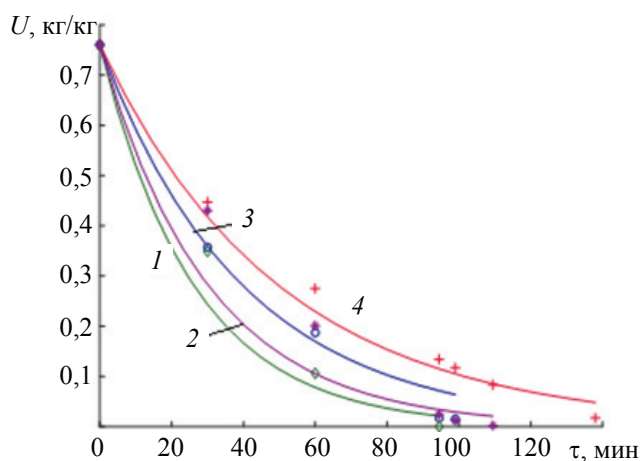


Рис. 3. Рассчитанные с использованием уравнения (1) кривые кинетики сушки при разных температурах и наличии или отсутствии УЗ-воздействия и опытные значения:
 1 – УЗ, $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – УЗ, $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – $T = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$

Значение b зависит от температуры сушильного агента и наличия интенсифицирующего ультразвукового воздействия; $Y = 1$ при использовании ультразвукового воздействия; $Y = 0$, если ультразвуковое воздействие отсутствует; t_c – температура сушильного агента в диапазоне 50...80 °С. Значения коэффициентов: $p_0 = 0,01164$; $p_1 = 0,01298$; $p_2 = 0,0001675$; $U_0 = 0,76$.

По всем кривым кинетики сушки сумма квадратов отклонений опытных и расчетных данных не превышает 5,5 %.

На рисунке 3 представлены рассчитанные с использованием уравнения (1) кривые кинетики сушки при разных температурах и наличии или отсутствии УЗ-воздействия. Здесь же показаны опытные значения.

Результаты иллюстрируют достаточно хорошее качество аппроксимации семейства кинетических кривых, полученных в данном исследовании. Полученные результаты дополняют данные других исследований, связанных с изучением, обобщением и расчетом кинетики сушки [5 – 14].

Заключение

Анализ и кинетический расчет процессов конвективной сушки плоских текстильных материалов требует накопления и систематизации данных по кинетике процесса при различных условиях, особенно это важно для непрерывной сушки, интенсифицированной физическими полями.

Проведены экспериментальные исследования кинетики процесса конвективной сушки волокнистого материала – типовой плотной шерстяной ткани на специально созданной установке при различных температурных режимах, в том числе с ультразвуковой интенсификацией.

Установлено, что наиболее эффективным для исследованного объекта является комбинированное воздействие. Действие ультразвуковой интенсификации на кинетику процесса эффективнее при более низких температурах сушильного агента.

Проанализированы и аппроксимированы опытные данные по кинетике сушки типовой плотной шерстяной ткани. Полученные результаты можно использовать для анализа и расчета кинетики конвективной сушки плотных шерстяных тканей, с учетом экспериментально обоснованной зависимости влагосодержания материала от температуры сушильного агента и наличия интенсифицирующего ультразвукового воздействия, а также для прогнозирования кинетики конвективной сушки плотных шерстяных тканей.

Список литературы

1. Кошелева, М. К. Процессы и аппараты текстильных технологий в примерах, лабораторных работах и тестах / М. К. Кошелева. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 321 с. doi: 10.12737/textbook_5c738dd84c8d55.56400384
2. Хмелев, В. Н. Разработка экспериментального стенда для исследования непрерывной конвективной сушки текстильных материалов при контактном ультразвуковом воздействии / В. Н. Хмелев, В. А. Нестеров, М. К. Кошелева, Д. В. Генне, П. П. Тertiшников // Промышленные процессы и технологии. – 2022. – Т. 2, № 2. – С. 64 – 76. doi: 10.37816/2713-0789-2022-2-2(4)-64-76
3. Гуляев, Ю. В. Обзор материалов симпозиума «Вторые Международные Косыгинские чтения «Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование», приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» / Ю. В. Гуляев, В. С. Белгородский, М. К. Кошелева // Теоретические основы химической технологии. – 2020. – Т. 54, № 3. – С. 392 – 396. doi: 10.31857/S0040357120030057

4. Сажин, Б. С. Формирование научных направлений и отражение научных достижений в области повышения эффективности тепломассообменных процессов, экологической и производственной безопасности текстильных производств в разделе «Экологическая и производственная безопасность. Промтеплоэнергетика» / Б. С. Сажин, С. В. Федосов, М. К. Кошелева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018. – № 4(376). – С. 116 – 122.
5. Кошелева, М. К. Влияние ультразвукового поля на кинетические коэффициенты в процессе экстрагирования / М. К. Кошелева, С. П. Рудобашта // Инженерно-физический журнал. – 2019. – Т. 92, № 5. – С. 2404 – 2409. doi: 10.1007/s10891-019-02052-z
6. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Изд. 2-е. – М.: Энергия, 1968. – 471 с.
7. Павлюкевич, Н. В. Введение в теорию тепло- и массопереноса в пористых средах / Н. В. Павлюкевич. – Минск: ИТМО НАН РБ, 2002. – 140 с.
8. Акулич, П. В. Термогидродинамические процессы в технике сушки / П. В. Акулич; под ред. П. С. Куца. – Минск: ИТМО НАН РБ, 2002. – 268 с.
9. Рудобашта, С. П. Диффузия в химико-технологических процессах / С. П. Рудобашта, Э. М. Карташов. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: КолосС, 2013. – 478 с.
10. Рудобашта, С. П. Расчет процесса сушки гранул полиакпроамида / С. П. Рудобашта, М. К. Кошелева, К. Э. Разумеев, А. В. Пичугин // Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 12. – С. 118 – 123.
11. Кошелева, М. К. Математическое моделирование тепло- и массопереноса при сушке гранул носителя для никелевого катализатора / М. К. Кошелева, В. П. Мешалкин, О. Р. Дорняк // Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология. – 2021. – Т. 55, № 3. – С. 339 – 346. doi: 10.31857/S0040357121030258
12. Липин, А. А. Моделирование процесса сушки и демономеризации полиамида в аппарате с кипящим слоем // А. А. Липин, А. Г. Липин, Д. В. Кириллов // Изв. вузов. Серия: Химия и химическая технология. – 2012. – Т. 55, № 2. – С. 85 – 88.
13. Куц, П. С. К вопросу приближенной методики расчета кинетики конвективной сушки плоских материалов / П. С. Куц, А. И. Ольшанский // Инженерно-физический журнал. – 1975. – Т. 28, № 4. – С. 19 – 21.
14. Кошелева, М. К. Массопроводность плоских волокнистых материалов при их конвективной сушке / М. К. Кошелева, С. П. Рудобашта, О. Р. Дорняк, В. М. Дмитриев // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2023. – Т. 66, Вып. 1. – С. 120 – 125. doi: 10.6060/ivkkt.20236601.6683

The Ultrasonic Effect on the Kinetics of Continuous Convective Drying of Flat Fiber Materials

М. К. Kosheleva¹, А. V. Shalunov², О. R. Dornyak³, М. V. Isaev¹

Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Security (1), oxtpaxt@yandex.ru, Russian State University named after N. A. Kosygin (Technology. Design. Art)”, Moscow, Russia;

Department of Methods and Measuring Instruments and Automation (2), Biysk Technological Institute (branch) Altai State Technical University, named after I. I. Polzunov, Biysk, Russia; Department of Electrical Engineering, Heat Engineering and Hydraulics (3), Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia

Keywords: fibrous material; kinetics; forecasting; drying; ultrasound.

Abstract: Experimental kinetic curves of continuous drying of a typical flat woolen fibrous material under various temperature conditions and intensification of the process by ultrasonic action have been obtained. It has been established that the combined ultrasonic and thermal effects are effective for the studied object of drying.

In this case, the influence of the ultrasonic field on the kinetics of the process is more effective at lower temperatures of the drying agent. The data obtained on the drying kinetics are approximated by formulas expressing the dependence of the moisture content of the material on temperature and the presence of ultrasonic intensification, and can be used to analyze and calculate the process.

References

1. Kosheleva M.K. *Protsessy i apparaty tekstil'nykh tekhnologiy v primerakh, laboratornykh rabotakh i testakh* [Processes and apparatuses of textile technologies in applications, laboratory work and tests], Moscow: INFRA-M, 2019, 321 p., doi: 10.12737/textbook_5c738dd84c8d55.56400384 (in Russ.).
2. Khmelev V.N., Nesterov V.A., Kosheleva M.K., Genne D.V., Tertishnikov P.P. [Development of an experimental stand for the study of continuous convective drying of textile materials under contact ultrasonic exposure], *Promyshlennyye protsessy i tekhnologii* [Industrial processes and technologies], 2022, vol. 2, no. 2, pp. 64-76, doi: 10.37816/2713-0789-2022-2-2 (4)-64-76 (in Russ., abstract in Eng.).
3. Gulyaev Yu.V., Belgorodsky V.S., Kosheleva M.K. [Review of the materials of the symposium "The Second International Kosygin Readings "Energy-efficient environmentally safe technologies and equipment", dedicated to the 100th anniversary of the Kosygin Russian State University"], *Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], 2020, vol. 54, no. 3, pp. 392-396, doi: 10.31857/S0040357120030057 (in Russ., abstract in Eng.).
4. Sazhin B.S., Fedosov S.V., Kosheleva M.K. [Formation of scientific directions and reflection of scientific achievements in the field of increasing the efficiency of heat and mass transfer processes, environmental and industrial safety of textile industries in the section "Ecological and industrial safety. Promteploenergetika"], *Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti* [Izv. universities. Technology of the textile industry], 2018, no. 4(376), pp. 116-122 (in Russ., abstract in Eng.).
5. Kosheleva M.K., Rudobashta S.P. [Influence of ultrasonic field on kinetic coefficients in the extraction process], *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering Physics Journal], 2019, vol. 92, no. 5, pp. 2404-2409, doi: 10.1007/s10891-019-02052-z (in Russ., abstract in Eng.).
6. Lykov A.V. *Teoriya sushki* [Theory of drying], Moscow: Energy, 1968, 471 p. (in Russ.).
7. Pavlyukevich N.V. *Vvedeniye v teoriyu teplo- i massoperenosa v poristykh sredakh* [Introduction to the theory of heat and mass transfer in porous media], Minsk: ITMO NAS RB, 2002, 140 p. (in Russ.).
8. Akulich P.V.; Kuts P.S. (Ed.). *Termogidrodinamicheskiye protsessy v tekhnike sushki* [Thermohydrodynamic processes in the drying technique], Minsk: ITMO NAS RB, 2002, 268 p. (in Russ.).
9. Rudobashta S.P., Kartashov E.M. *Diffuziya v khimiko-tekhnologicheskikh protsessakh* [Diffusion in chemical-technological processes], Moscow: KolosS, 2013, 478 p. (in Russ.).
10. Rudobashta S.P., Kosheleva M.K., Razumeev K.E., Pichugin A.V. [Calculation of the drying process of poly-caproamide granules], *ChemChemTech* [Izv. universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2013, vol. 56, no. 12, pp. 118-123 (in Russ., abstract in Eng.).
11. Kosheleva M.K., Meshalkin V.P., Dorniyak O.R. [Mathematical modeling of heat and mass transfer during drying of carrier granules for a nickel catalyst], *Izv. vuzov. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [Izv. universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2021, vol. 55, no. 3, pp. 339-346, doi: 10.31857/S0040357121030258 (in Russ., abstract in Eng.).
12. Lipin A.A., Lipin A.G., Kirillov D.V. [Modeling of the drying process and demonomerization of polyamide in a fluid-ized bed apparatus], *ChemChemTech* [Izv.

universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2012, vol. 55, no. 2, pp. 85-88 (in Russ., abstract in Eng.).

13. Kutz P.S., Olshansky A.I. [On the issue of approximate methods for calculating the kinetics of convective drying of flat materials], *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Engineering Physics Journal], 1975, vol. 28, no. 4, pp. 19-21. (in Russ., abstract in Eng.).

14. Kosheleva M.K., Rudobashta S.P., Dorniyak O.R., Dmitriev V.M. [Mass conductivity of flat fibrous materials during their convective drying], *ChemChemTech* [Izv. universities. Series: Chemistry and chemical technology], 2023, vol. 66, no. 1, pp. 120-125, doi: 10.6060/ivkkt.20236601.6683(in Russ., abstract in Eng.).

Die Wirkung von Ultraschall auf die Kinetik der kontinuierlichen Konvektionstrocknung der flachen Fasermaterialien

Zusammenfassung: Es sind experimentelle kinetische Kurven der kontinuierlichen Trocknung eines typischen flachen Wollfasermaterials unter verschiedenen Temperaturbedingungen und der Intensivierung des Prozesses durch Ultraschalleinwirkung erhalten. Es ist festgestellt, dass die kombinierten Ultraschall- und Wärmeeffekte für das untersuchte Trocknungsobjekt wirksam sind. Dabei ist der Einfluss des Ultraschallfeldes auf die Kinetik des Prozesses bei niedrigeren Temperaturen des Trocknungsmittels wirksamer. Die gewonnenen Daten zur Trocknungskinetik sind durch Formeln approximiert, die die Abhängigkeit des Feuchtigkeitsgehalts des Materials von der Temperatur und dem Vorhandensein einer Ultraschallverstärkung ausdrücken, und können zur Analyse und Berechnung des Prozesses verwendet werden.

Effet des ultrasons sur la cinétique de séchage par convection continue des matériaux fibreux plats

Résumé: Sont reçues des courbes cinétiques expérimentales pour le séchage continu d'un matériau fibreux de laine plat typique à différents régimes de température et l'intensification du processus par exposition aux ultrasons. Est établi que l'emploi commun des ultrasons et de la chaleur est efficace pour l'objet de séchage étudié. Dans ce cas, l'effet du champ ultrasonique sur la cinétique du processus est plus efficace à des températures plus basses de l'agent de séchage. Les données obtenues sur la cinétique de séchage sont approximées par des formules exprimant la dépendance de la teneur en humidité du matériau à la température et à la présence d'une intensification ultrasonore, et peuvent être utilisées pour l'analyse et le calcul du processus.

Авторы: *Кошелева Мария Константиновна* – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры энергоресурсоэффективных технологий, промышленной экологии и безопасности, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия; *Шалунов Андрей Викторович* – доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой методов и средств измерений и автоматизации, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», Бийск, Россия; *Дорняк Ольга Роальдовна* – доктор технических наук, доцент, профессор, заведующий кафедрой электротехники, теплотехники и гидравлики, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия; *Исаев Максим Владимирович* – студент, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия.
