

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Витебский государственный технологиче-  
ский  
университет»

677.027  
УДК 677.022.6

№ ГР 20113534

Инв. №

Утверждаю  
проректор по научной работе  
Е.В. Ванкевич  
«17» 12 2013г.



**ОТЧЕТ**

о научно-исследовательской работе

**Энергоэффективные технологии отделочного производства  
в текстильной промышленности**

(заключительный)

2011-Г/Б-381

Начальник НИЧ

  
17.12.13

С.А. Беликов

Научный руководитель

д.т.н., проф.

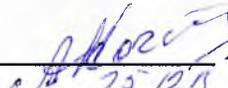
  
15.12.13

А.Г. Коган

Витебск 2013 г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы,  
Профессор, д.т.н.

  
15.12.13

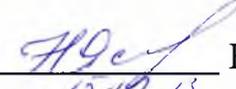
А.Г. Коган (общее руководство,  
заключение)

Исполнители темы:  
Профессор, к.т.н.



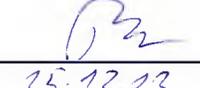
В.И. Ольшанский (главы 1, 2, 3, 5, 6)

Доцент, к.т.н.

  
15.12.13

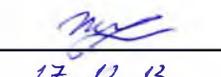
Н.Н. Ясинская (главы 4, 5, 8, 7, 11)

М.н.с.

  
15.12.13

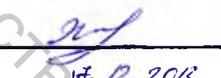
А.Н. Бизюк (главы 4, 9, 10, 12)

М.н.с.

  
17.12.13

С.В. Жерносек (главы 2, 3, 6, 9)

Нормоконтроль

  
17.12.2013

С.В. Жерносек

Витебский государственный технологический университет

## РЕФЕРАТ

Отчет 235 стр., 63 рис., 32 табл., 77 источников, 2 прил.

ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, СУШКА, ТЕРМОФИКСАЦИЯ, КРАШЕНИЕ, ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНАЯ ОТДЕЛКА, АППРЕТИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ ВЧ, СВЧ, ИК, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, КРАЕВОЙ УГОЛ, ВЯЗКОСТЬ, СМАЧИВАНИЕ, КАПИЛЛЯРНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Цель работы – разработка научно-обоснованной теории процессов, происходящих при химической отделке текстильных материалов с использованием современных способов интенсификации химико-текстильных процессов с использованием электромагнитных волн высокочастотного (ВЧ), сверхвысокочастотного (СВЧ) и инфракрасного (ИК) диапазона, обеспечивающих снижение энергоемкости базовых процессов; разработка методики, позволяющей математически описывать процесс сушки и термофиксации, рассчитать рациональные параметры и теплофизические свойства текстильных материалов из натуральных и химических волокон, используемых в легкой и текстильной промышленности; разработка методики проведения исследований процесса отделки текстильных материалов из натуральных и химических волокон с использованием электромагнитных волн инфракрасного (ИК) и сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона; провести теоретические и экспериментальные исследования технологического процесса крашения и заключительной отделки текстильных материалов с использованием электромагнитного поля (ИК и СВЧ), оптимизацию технологических параметров и выбор рациональных режимов процесса отделки текстильных материалов, экспериментальные исследования физико-механических свойств текстильных материалов и степени фиксации красителей при воздействии электро-

магнитных волн ИК и СВЧ диапазона, сравнительный анализ эффективности высокоинтенсивных способов отделки текстильных материалов.

В ходе работы проведен анализ современных методов исследования теплофизических свойств текстильных материалов, изучены методы и средства определения теплофизических характеристик текстильных композиционных материалов, рассмотрены методы определения коэффициентов теплопроводности и температуропроводности, разработана опытно-экспериментальная установка для исследования теплофизических свойств текстильных композиционных материалов, проведены экспериментальные исследования по определению коэффициентов теплопроводности и температуропроводности текстильных композиционных материалов, проведен анализ результатов экспериментальных исследований и разработаны рекомендации по структуре и назначению композиционных текстильных материалов; проведен аналитический обзор методов, способов и оборудования для сушки и термообработки текстильных материалов в процессе заключительной отделки с использованием электромагнитных волн высокочастотного (ВЧ) и сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона, разработаны опытно-экспериментальный стенд и методика проведения исследований процесса заключительной отделки текстильных материалов, проведены теоретические и экспериментальные исследования влияния воздействия электромагнитных волн ВЧ и СВЧ на свойства текстильных материалов, теоретические и экспериментальные исследования технологического процесса заключительной отделки текстильных материалов с использованием электромагнитного поля (ВЧ и СВЧ), оптимизация технологических параметров и выбор рациональных режимов процесса заключительной отделки текстильных материалов; в результате экспериментальных и теоретических исследований процесса химической отделки текстильных материалов из натуральных и химических волокон разработана методика проведения исследований процесса пропитки волокнистых систем водной дисперсией полимера или раствором красителя в условиях воздействия электромагнитных волн СВЧ и ИК-диапазона, получе-

ны математические модели зависимости эффективности пропитки от основных параметров СВЧ и ИК обработки, позволяющие рассчитывать рациональные режимы процесса отделки текстильных материалов, проведена оптимизация основных параметров процесса отделки - расхода энергии на единицу объема аппретирующей композиции, температуры и капиллярности, получены математические модели зависимости параметров отделки от мощности СВЧ и ИК-излучения, продолжительности обработки и концентрации полимерной композиции, исследованы физико-механические свойства текстильных материалов из натуральных и химических волокон после отделки в условиях СВЧ и ИК-излучения, выполнен сравнительный анализ высокоинтенсивных способов отделки текстильных материалов.

Апробация разработанной технологии проведена на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей при производстве технических текстильных материалов специального назначения».

Результаты работы внедрены в производство на ОАО «Витебский комбинат шелковых тканей», экономический эффект от внедрения энерго - ресурсосберегающей технологии отделки текстильных материалов составил 230 млн. 489 тыс. 280 руб. (двести тридцать миллионов четыреста восемьдесят девять тысяч двести восемьдесят рублей), от внедрения технологии производства технических композиционных материалов 240 000 000 руб. (двести сорок миллионов рублей).

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
ВВЕДЕНИЕ	9
1 АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	11
1.1 Характеристика тепловых режимов и методов определения теплофизических свойств текстильных материалов.	11
1.2 Разработка опытно-экспериментальной установки для исследования теплофизических свойств текстильных композиционных материалов	15
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	17
2.1 Метод определения коэффициента теплопроводности	19
2.2 Метод определения коэффициента температуропроводности	20
3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	26
3.1 Средства для определения теплофизических свойств образцов пластинчатой формы	26
3.2 Выбор и краткая характеристика объекта для исследований теплофизических свойств	27
3.3 Экспериментальное определение коэффициента теплопроводности	36
3.4 Экспериментальное определение коэффициента температуропроводности текстильных композиционных материалов	39
4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СТРУКТУРЕ И НАЗНАЧЕНИЮ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	44
5 ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СВЧ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССАХ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	48
5.1 Диэлектрический способ нагрева текстильных материалов	49
6 ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ОТДЕЛКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ НАГРЕВА	53
6.1 Опытно-экспериментальный стенд для экспериментальных исследований процесса заключительной отделки текстильных материалов	53
6.2 Методика проведения экспериментальных исследований	56
6.3 Результаты экспериментальных исследований сушки текстиль-	58

	ных материалов токами СВЧ	
7	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ПОЛЕ ВЧ, СВЧ	59
8	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ХИМИЧЕСКОЙ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЧ И ИК ДИАПАЗОНА	67
8.1	Выбор и характеристика объекта исследований	69
8.2	Установка для экспериментальных исследований процесса отделки тканей с использованием электромагнитных волн СВЧ	70
8.3	Установка для экспериментального исследования процесса отделки тканей с использованием ИК нагрева	71
9	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЧ И ИК ДИАПАЗОНА	73
9.1	Исследование процесса смачивания волокнистых материалов	73
9.1.1	Исследование зависимости поверхностного натяжения аппретирующей композиции от параметров СВЧ и ИК нагрева	76
9.1.2	Исследование зависимости краевого угла смачивания от параметров СВЧ и ИК нагрева	82
9.2	Влияние параметров СВЧ и ИК нагрева на реологические свойства аппретирующей композиции	88
9.3	Построение математической модели зависимости эффективности процесса пропитки текстильного материала из целлюлозных волокон от параметров СВЧ-обработки	95
9.4	Определение эффективного радиуса капилляров в условиях СВЧ-нагрев	100
9.5	Экспериментальные исследования адсорбции и равномерности пропитки тканого материала водной дисперсией стирол-акрилата в условиях ИК-нагрев	107
10	ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН СВЧ И ИК ДИАПАЗОНА	122
11	СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНЫХ СПОСОБОВ ОТДЕЛКИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ (СВЧ И ИК)	133
12	ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ВЧ И СВЧ НА СВОЙСТВА ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ	134
12.1	Исследование влияния СВЧ – излучения на степень фиксации красителей	140
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	142

Список использованных источников

148

Приложение А

155

Приложение Б

193

Витебский государственный технологический университет

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алиев, М. И. Прибор для измерения температуропроводности твердых тел методом светового импульса / М. И. Алиев, Р. Э. Гусейнов, Д. Г. Араслян // ИЗВ. АН Аз. ССР. Серия физико-технических и математических наук. – № 3, 1979. – С. 77.
2. Аметистов, Е. В. Основы теории теплообмена / Е. В. Аметистов. – Москва : Изд. МЭИ, 2000. – 242 с.
3. А.с. 1481656 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ бесконтактного контроля теплофизических характеристик материалов / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. № 4244740/31 -25; Заявл. 3.05.87; Оpubл. 23.05.89, Бюл. № 19. – 6 с.
4. А.с. 1385787 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических характеристик и устройство для его осуществления / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. № 3856534/25; Заявл. 2.01.85; Оpubл. 1.12.87. – 8 с.
5. А.с. 1377695 СССР, МКИ G 01 N 25/18. Способ неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов, В. А. Попов. № 4055693/31-25; Заявл. 14.04.86; Оpubл. 29.02.88, Бюл. № 8. – 6 с.
6. Баранов, В. М. Ультразвуковой метод определения температуропроводности материалов / В. М. Баранов, Е. М. Кудрявцев, А. И. Самохвалов. – ИФЖ, Т. 30, № 6, 1976.– С. 965.
7. Беляев, Н. М. Методы теории теплопроводности / Н. М. Беляев, А. А. Рядно. – Москва : Высшая школа, В 2 ч. 1982. – 671 с.
8. Бойков, Г. П. Определение теплофизических свойств строительных материалов / Г. П. Бойков, Ю. В. Видин, В. М. Фокин. – Красноярск : Изд-во Красноярского университета, 1992. – 172 с.
9. Бойков, Г. П. Основы тепломассообмена / Г. П. Бойков, Ю. В. Видин, В. Н. Журавлев. – Красноярск, 2000. – 272 с.

10. Бровкин, Л. А. Определение коэффициента температуропроводности при квазистационарном режиме // Заводская лаборатория. 1961, Т. 27, № 5. – С. 578–581.
11. Вавилов, В. П. Тепловые методы неразрушающего контроля : Справочник / В. П. Вавилов, – Москва : Машиностроение, 1991. – 240 с.
12. Гаврилов, Р. Н. Метод определения теплофизических свойств горного массива без нарушения естественной структуры / Р. Н. Гаврилов, Н. Д. Никифоров – ИФЖ. 1983, № 6. – С. 1023–1024.
13. Гурьев, М. Е. Тепловые измерения в строительной теплофизике / М. Е. Гурьев. – Киев, 1976. – С. 93–105.
14. Загребин, Л. Д. Импульсный метод измерения теплофизических свойств металлов с использованием лазерного нагрева : Автореф. дис. канд. техн. наук. Загребин, Л. Д. – Свердловск, 1982. – 23 с.
15. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы. / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – С. 140.
16. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Москва : Энергия, 1975. – 488 с.
17. Кириченко, Ю. А. Измерение температуропроводности методом радиальных температурных волн в цилиндре / Ю. А. Кириченко. – Измерительная техника, 1960. № 5. – С. 29–32.
18. Козлов, В. П. Аналитические основы неразрушающих способов комплексного определения теплофизических характеристик материалов / В. П. Козлов, В. Н. Липовцев, Г. П. Писарик. – Промышленная теплотехника, 1987. № 2. – С. 96–102.
19. Кондратьев, Г. М. Регулярный тепловой режим / Г. М. Кондратьев. – Москва : Гостехиздат, 1954. – 408 с.
20. Кондратьев, Г. М. Тепловые измерения / Г. М. Кондратьев. – Легмаш : Машгиз, 1957. – 240 с.

21. Крейт, О. Основы теплопередачи / О. Крейт, У. Блек. – Москва : Мир, 1983. – 256 с.
22. Курепин, В. В. Приборы для теплофизических измерений с прямым отсчетом / В. В. Курепин, В. М. Козин, Ю. В. Левочкин. – Промышленная теплотехника, 1982. Т. 4. № 3. – С. 91.
23. Курепин, В. В. Энтальпийный термозонд для неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов / В. В. Курепин, Е. С. Платунов, Е. А. Белов. – Промышленная теплотехника, 1982. № 4. – С. 78.
24. Кутателадзе, С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1958. – 414 с.
26. Лыков, А. В. Теплообмен : Справочник / А. В. Лыков. – Москва : Энергия, 1978. – 480 с.
27. Мак Адамс, В. Х. Теплопередача / В. Х. Мак Адамс. – Москва : Металлургия, 1961. – 686 с.
28. Михеев, М. А. Краткий курс теплопередачи / М. А. Михеев. – Москва : Госэнергоиздат, 1961. – 208 с.
29. Паперный, Е. А. Погрешности контактных методов измерения температур / Е. А. Паперный, И. Л. Эйдельштейн. – Москва-Ленинград : Энергия, 1966.
30. Парцхаладзе, К. Г. Импульсный метод измерения температуропроводности / К. Г. Парцхаладзе // Труды метрологических институтов СССР. 1971, Вып. 129. – С. 86.
31. Пелейкий, В. Э., Тимрот Д. Л., Воскресенский В. Ю. Высокотемпературные исследования тепло- и электропроводности твердых тел / В. Э. Пелейкий, Д. Л. Тимрот, В. Ю. Воскресенский. – Москва : Энергия, 1971. – 192 с.
32. Приборы для измерения температуры контактным способом / Под ред. Р. В. Бычковского. – Львов : Вища школа, 1978. – 208 с.

33. Теплофизические свойства веществ / Под ред. Н. Б. Варгафтика. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1956. – 367 с.
34. Фокин, В. М. Температуропроводность ионных кристаллов // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 1994, № 3-4. – С. 41-46.
35. Физические величины : Справочник / Под ред. И. С. Григорьева, Е. З. Мейлихова. – Москва : Энерго-атомиздат, 1991. – 232 с.
36. Черпаков, П. В. Теория регулярного теплообмена / П. В. Черпаков. – Москва : Энергия, 1975. – 225 с.
37. Чудновский, А. Ф. Теплофизические характеристики дисперсных материалов / А. Ф. Чудновский. – Москва : Физматгиз, 1962. – 456 с.
38. Шаронова, О. В. Упорядоченный тепловой режим в твердых телах / О. В. Шаронова, Ю. В. Видин, Г. П. Бойков. – Красноярск : Красноярский политех. ин-т, 1975. – 64 с.
39. Шаронова, О. В. Упорядоченный тепловой режим в брусе квадратного сечения : Вопросы теплообмена в строительстве / О. В. Шаронова, В. М. Фокин. – Ростов-н/Д, 1986. – С. 79 - 84.
40. Шашков, А. Г. Системно-структурный анализ процесса теплообмена и его применение / А. Г. Шашков. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 280 с.
41. Lanivik, M. Thermometry by surface probes / High Temp. High Pressures, 1983. Vol. 15. N 2. – P. 199 – 204.
42. Глуханов, Н. П. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов в машиностроении / Н. П. Глуханов, И. Г. Федоров. – Ленинград : Машиностроение, 1983. – 160 с.
43. Княжевская, Г. С. Высокочастотный нагрев диэлектрических материалов / Г. С. Княжевская, М. Г. Фирсова. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 64 с.
44. Кукарин, С. В. Электронные СВЧ приборы / С. В. Кукарин. – Москва : Радио и связь, 1981. 271 с.

45. Бацев, П. В. СВЧ-модуль промышленного применения с электронной системой регулирования мощности / П. В. Бацев, А. С. Зуемановский // Электронная техника. Серия I "Электроника СВЧ", 1974, вып.8.
46. Рогов, И. А. Техника сверхвысокочастотного нагрева пищевых продуктов / И. А. Рогов, С. В. Некрутман, Г. В. Лысов. – Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 199 с.
47. Text.-Prax. Int. 1986. Vol. 41. № 4 P. 420–422.
48. Патент Великобритании № 1486415, F 26B13/01. Оpubл. Б. И. вып. 94, № 2, 1978, с. 4.
49. Патент № 4323361 США, МКИ Д06 35/20. Оpubл. Б. И. вып.75, № 2, 1983, с. 33.
50. K. Berger // Int. Text. Bull. 1983. № 2 P. 81–94.
51. Патент № 0137066 ЕПВ, МКИ Д06С7/02. Оpubл. Б. И. вып.75, № 11, 1985, с. 15.
52. Патент № 56-8153 Япония, МКИ Д06С23/04. Оpubл. Б. И. вып.72, № 8, 1981, с. 42.
53. Патент № 1490332 Великобритания. Оpubл. Б. И. вып. 94, № 3,1987.
54. Апельтгаузен, А. П. Электротермическое оборудование: Справочник / Под. ред. А. П. Альтгаузена. – Москва : Энергия, 1980. – 416 с.
55. Трошина, А. А. Технологические процессы и оборудование для сушки непроводниковых материалов в электрическом поле высокой частоты. / А. А. Трошина, О. П. Родионова, И. А. Кириллова. – Москва : Информэлектро, 1987. – 322 с.
56. Int. Text. Bull. Veredl. 1985. Vol. 31. № 2 S. 85-86.
57. Int. Text. Bull. Veredl. 1984. № 3 S. 79-80.
58. Text. Asia. 1984. Vol. 4. № 15 P. 64-65.
59. Wool Rec. 1984. Vol. 143. № 3472 P. 59.
60. Textilind. 1985. 35/87, № 1 S. 64.
61. Goldberg A. // Text. Chem. and Color. 1983. Vol. 15. № 9 P. 53–60.

62. Пчельников, Ю. Н. Электроника сверхвысоких частот / Ю. Н. Пчельников, В. Г. Свиридов. – Москва : "Радио и связь", 1981. – 88 с.
63. Пюшнер, Г. Нагрев энергией сверхвысоких частот / Г. Пюшнер. – Москва : Энергия, 1968. – 311 с.
64. Патент № 55-49580 Япония МКИ Д06В 19/00. Оpubл. в РЖ ЛП, 1985, № 10, реф. А208П.
65. Патент № 52-84331 Япония МКИ Д06В 19/00. Оpubл. Б. И., 1977, № 12, с. 37.
66. Коротков, В. А. Проблемы исследования сушки слоистых и капиллярно-пористых материалов в поле сверхвысокой частоты / В. А. Коротков, А. П. Пиденко, Б. Д. Тулаев // Тепло- и массоперенос. Т.6. Тепло- и массоперенос в капиллярнопористых телах и процессах сушки. – Минск, 1972. – С. 468–471.
67. Побединский, В. С. Активирование процессов отделки текстильных материалов энергией электромагнитных волн ВЧ, СВЧ и УФ диапазонов / В. С. Побединский. – Иваново : ИХР РАН, 2000. – 128 с.
68. Лыков, А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – Москва : Энергия, 1968. – 472 с.
69. Кавказов, Ю. Л. Тепло- и массообмен в технологии кожи и обуви / Ю. Л. Кавказов. – Москва : Легкая индустрия, 1973. – 272 с.
70. Сакалов, М. А. Использование токов СВЧ для повышения эффективности процесса мерсеризации тканей / дисс. Канд. Техн. Наук/ М.А. Сакалов. – Иваново, 1999. – 167 с.
71. Побединский, В. С. Диэлектрические свойства текстильных материалов / В. С. Побединский, А. Л. Никифоров, С. М. Побединский // Деп. рукопись в ЦНИИТИлегпром, 25.04.88. – №2416 ЛП88.
72. Никифоров, А. Л. Применение энергии высоких частот для активации процессов отделки и крашения текстильных материалов / А. Л. Никифоров, Б. Н. Мельников, И. Б. Блиничева // Химические волокна. 1996. №4. – С.44–48.

73. Губерман, М. С. Теоретическое обоснование, разработка и освоение высокоэффективных технологий производства тканей специального и бытового назначения / дисс. Докт. Техн. Наук/ М.С. Губерман. – Иваново, 2000. – 601 с.

74. Сажин, В. С. Основы техники сушки / В. С. Сажин. – Москва : Химия, 1984. – 320 с.

75. Кавказов, Ю.Л. Основы технологии сушки / Ю. Л. Кавказов // Всесоюзное совещание по интенсификации процессов и улучшению качества материалов при сушке. – Москва : Профиздат, 1958.

76. Смольский, Б. М. Внешний тепло- и массообмен в процессе конвективной сушки / Б. М. Смольский. – Минск : БГУ, 1954. – 279 с.

77. Красников, В. В. Применение задач теплопроводности с подвижной границей к анализу процессов сушки / В. В. Красников, М. С. Смирнов // Инженерно-физический журнал. – 1970, №3, Т.19. – С. 464–475.