

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи  
УДК 685.34.055.44

**МАКАРЕНКО**  
**ЕЛЕНА ФРАНЦЕВНА**

**КОНВЕКТИВНАЯ УСТАНОВКА ПРОХОДНОГО ТИПА  
ДЛЯ СУШКИ И ТЕРМОФИКСАЦИИ ОБУВИ**

диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук  
по специальности 05.02.13 – “Машины, агрегаты и процессы (легкая  
промышленность)”

Научный руководитель  
кандидат технических наук,  
профессор ОЛЬШАНСКИЙ В.И.

Витебск, 2009



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ	7
ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ ОБУВИ И ВЫБОР СПОСОБА СУШКИ	11
1.1 Анализ способов сушки и конструкций технологического оборудования, применяемого для сушки обуви	11
1.2 Комбинация способов сушки и выбор оптимального способа	22
1.3 Анализ современных конвективных сушильных установок проходного типа	26
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	32
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА КОНВЕКТИВНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПРОХОДНОГО ТИПА	34
2.1 Разработка конструкции экспериментальной конвективной сушильной установки	34
2.2 Расчет тепловой мощности сушильной установки проходного типа	41
2.3 Расчет аэродинамических характеристик установок для сушки обуви при конвективном подводе тепла	49
2.4 Выбор системы управления сушильной установки	58
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	61
ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ МНОГОСЛОЙНЫХ ПАКЕТОВ ОБУВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ	62
3.1 Анализ влияния режимных параметров процесса конвективной сушки на качество обуви	62
3.2 Выбор способа увлажнения обувных заготовок	65
3.3 Выбор материалов, изготовление и подготовка образцов к экспериментальным исследованиям	68
3.4 Расчет термического сопротивления экспериментального пакета многослойных обувных материалов	69
3.5 Экспериментальные исследования кинетики конвективной сушки многослойных пакетов обувных материалов	73
3.6 Определение диапазона основных режимных параметров сушки обуви	81
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	86

ГЛАВА 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ОБУВНОГО ПАКЕТА МНОГОСЛОЙНЫХ МАТЕРИАЛОВ	87
4.1 Исследование пакета материалов верха обуви на устойчивость к воздействию теплового потока	87
4.2 Анализ процесса протекания конвективной сушки обуви	91
4.2.1 Анализ кинетики сушки в период постоянной скорости	93
4.2.2 Анализ кинетики сушки в период падающей скорости	96
4.3 Моделирование распределения температурного поля в процессе сушки	101
4.4 Разработка метода расчета продолжительности сушки, величины теплового потока и теплопроизводительности установки	107
4.5 Влияние режимных параметров сушки на технологические и потребительские свойства обуви	114
4.6 Оценка рациональных режимов процесса сушки обувных заготовок на опытно-промышленном образце	120
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 4	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	124
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	126
ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты экспериментальных исследований на конвективной сушильной установке с эффектом вакуума	138
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Патент Республики Беларусь «Установка для термофиксации и сушки обуви»	140
ПРИЛОЖЕНИЕ В Конвективно-радиационная установка с направленным тепловым потоком	143
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Патент Республики Беларусь «Конвективно- радиационная установка проходного типа для термофиксации и сушки обуви»	144
ПРИЛОЖЕНИЕ Д Анализ современного сушильного оборудования	147
ПРИЛОЖЕНИЕ Е Акты о внедрении НИР в учебный процесс	150
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж Патент Республики Беларусь «Установка проходного типа для термофиксации и сушки обуви»	158
ПРИЛОЖЕНИЕ И Расчет привода конвейера сушильной установки	161
ПРИЛОЖЕНИЕ К Результаты расчета термического сопротивления пакета материалов верха обуви	164
ПРИЛОЖЕНИЕ Л Алгоритм расчета термического сопротивления многослойного пакета обувных материалов в математической системе Maple 11.5	165
ПРИЛОЖЕНИЕ М Результаты экспериментальных исследований	170

кинетики сушки многослойных пакетов обувных материалов	
ПРИЛОЖЕНИЕ Н Коэффициенты полиномиальных моделей и графическая интерпретация моделей	173
ПРИЛОЖЕНИЕ П Акты об использовании (внедрении) НИР в производство и учебный процесс	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Р Основные элементы установки для определения устойчивости материалов к воздействию теплового потока	180
ПРИЛОЖЕНИЕ С Протокол испытаний образцов в НИЦ Витебского областного управления МЧС РБ	182
ПРИЛОЖЕНИЕ Т Результаты расчета плотности теплового потока для обувных материалов	191
ПРИЛОЖЕНИЕ У Алгоритм оценки плотности теплового потока в математической системе Maple 11.5	192
ПРИЛОЖЕНИЕ Ф Акт о внедрении НИР в учебный процесс	196
ПРИЛОЖЕНИЕ Х Результаты аналитических исследований кинетики сушки	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Ц Паспорт конвективной сушильной установки проходного типа	202
ПРИЛОЖЕНИЕ Ч Акт об использовании (внедрении) НИР в производство	210



## ВВЕДЕНИЕ

Проблема интенсификации технологических процессов в обувной промышленности в настоящее время является актуальной, так как она тесно связана с проблемой энергосбережения, технологическим обеспечением процессов влажно-тепловой обработки и сушки обуви, а так же с повышением качества и формоустойчивости обуви. Интенсификация технологических процессов имеет своей конечной целью сокращение потребляемой энергии на единицу продукции, уменьшение массы и габаритных размеров сушильных установок, повышение качественных показателей обуви. Современная обувная промышленность требует применения энергоэффективных сушильных установок проходного типа, обеспечивающих высокоинтенсивные методы сушки и качественные показатели обуви.

В настоящее время в обувной промышленности Беларуси применяется сушильное оборудование как отечественных, так и зарубежных производителей. Сушильные установки отечественного производства устарели. Они занимают до 30% производственных площадей, ухудшают экологическую обстановку в производственном помещении и потребляют большое количество электроэнергии. Ведущие предприятия республики используют современное импортное оборудование, которое отличается компактностью, высокой производительностью при низком потреблении электроэнергии, однако многие предприятия не в состоянии оснастить свое производство таким дорогостоящим оборудованием.

Указом Президента Республики Беларусь № 399 от 25.08.2005 г. и Государственной программой импортозамещения на 2006-2010 годы, разработанной Правительством Республики Беларусь, поставлены следующие задачи [1, 2]:

- стимулирование косвенного импортозамещения, внедрение современных материало- и энергосберегающих технологий, повышающих эффективность использования импортируемых ресурсов;
- повышение эффективности использования или репрофилирование действующих, а также создание новых производственных мощностей с наиболее высокой эффективностью капиталовложений при реализации инвестиционных проектов.

В связи с этим актуальной научно-технической задачей в Республике Беларусь является разработка нового технологического оборудования, направленного в первую очередь на импортозамещение, что позволит сократить затраты на производство обуви и расходы на содержание сушильного оборудования. Создание высокоинтенсивных отечественных установок для

сушки и термофиксации обуви позволит существенно снизить энергетические затраты, интенсифицировать процессы сушки и ВТО, повысить качество производимой продукции и решить задачи, поставленные Президентом и Правительством Республики Беларусь в области энергосбережения и импортозамещения.

Несмотря на значительное количество научно-исследовательских работ, посвященных совершенствованию технологии сушки и разработке сушильного оборудования, отсутствуют научно-обоснованные технологические режимы сушки обуви, обеспечивающие заданные технологические свойства и методы проектирования энергосберегающих установок для сушки и термофиксации верха обуви.

Основной целью работы является разработка рациональной конструкции энергоэффективной конвективной установки для сушки и термофиксации обуви и создание инженерных методов расчета режимных параметров процесса конвективной сушки обуви.