

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

УДК 667.635:674.21

**ЧУЙКОВ**  
Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНО-  
ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ИЗДЕЛИЙ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.21.05 – древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

Минск, 2018

Работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» на кафедре технологии и дизайна изделий из древесины

**Научный руководитель**

**Прохорчик Сергей Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет»

**Официальные оппоненты:**

**Врублевская Валентина Ивановна**, доктор технических наук, профессор кафедры деталей машин, путевых и строительных машин учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»;

**Тудейко Валерий Валентинович**, кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Речицадрев»

**Оппонирующая организация**

Белорусский национальный технический университет

Защита состоится «12» июня 2018 г. в 15.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.08.06 в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» по адресу: 220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, ауд. 240, корп. 4. Тел. (017) 327-83-41, факс (017) 327-62-17, e-mail: lmitlz@belstu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет».

Автореферат разослан «11» мая 2018 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
кандидат технических наук, доцент

С. П. Мохов

## ВВЕДЕНИЕ

Государственной программой «Строительство жилья» на 2016–2020 гг. (утв. постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 325 от 21 апреля 2016 г.) предусмотрено увеличение уровня обеспеченности населения жильем с 26,36 м кв. на человека (в 2015 г.) до 27,3 м кв. (в 2020 г.). Рост жилищного строительства в Республике Беларусь приведет к увеличению объемов производства строительных изделий и конструкций, в том числе и из древесины (оконных и дверных блоков). Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь производство окон и дверей в 2016 г. достигло отметок 782 и 1295 тыс. м кв. соответственно.

Для обеспечения длительного срока эксплуатации столярно-строительных изделий требуется создание на их поверхности защитно-декоративных покрытий (в частности образованных акриловыми водно-дисперсионными и полиуретановыми лакокрасочными материалами).

Наиболее энергоемкой и продолжительной технологической операцией в процессе создания покрытий является их отверждение. Применение традиционного метода ускорения сушки лакокрасочных материалов (конвективного) позволяет интенсифицировать этот процесс и сократить его со 180–240 мин (при естественной сушке) до 90–120 мин. При этом температура сушильного агента для акриловых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов не должна превышать 35°C. Это накладывает ограничение на ускорение процесса пленкообразования, так как повышение температуры будет приводить к ухудшению качества покрытия.

Использование способа терморadiационного нагрева позволяет в большей степени сократить время пленкообразования лакокрасочных материалов. Известно, что этот способ получил широкое распространение в машиностроении, легкой и пищевой промышленности. Анализ работ таких ученых, как Е. А. Малинковича, С. Н. Зигельбойма, М. В. Чугуновой, Р. Б. Шноля, Э. А. Чернякова, С. Г. Багажкова, Н. А. Суханова показал, что применение этой технологии в отношении сушки лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий, связано с рядом сложностей: отсутствием достаточной информации по подбору и расчету сушильного оборудования, отсутствием практических рекомендаций по отверждению терморadiационным способом акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов.

Таким образом, выбранное направление является актуальным, так как решение перечисленных проблем сделает возможным применение технологии терморadiационного отверждения для сушки лакокрасочных покрытий, нанесенных на столярно-строительные изделия. Внедрение технологии терморadiационной сушки акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов на деревообрабатывающих предприятиях, в том числе и Республики Бела-

реть, позволит снизить продолжительность пленкообразования лакокрасочных материалов, повысить выпуск продукции, сократить трудозатраты с сохранением требуемого уровня качества защитно-декоративных покрытий выпускаемой продукции.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с научными программами (проектами), темами.** Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям инновационного и социально-экономического развития Республики Беларусь в области энергетических систем, процессов и технологий и научному направлению кафедры технологии и дизайна изделий из древесины учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет». Диссертация выполнялась в рамках следующих научных тем:

1. Грант Министерства образования Республики Беларусь на тему «Разработка режимов инфракрасной сушки лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий» (ГБ 16–512, ГР № 20163798, 2015–2016 гг.).

2. Научно-исследовательская работа на тему «Определение и оценка времени высыхания лакокрасочных материалов» (ХД 16–038, 2016 г.).

3. «Разработка и совершенствование ресурсосберегающих экологически безопасных технологий переработки древесного сырья и отходов деревообработки с получением заготовок и декоративных элементов мебели, клеевых и лакокрасочных материалов. Дизайн мебели и проектирование мебельного производства» (ГБ 13–16).

4. «Разработка ресурсосберегающей технологии создания из древесины мягколиственных пород столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели с использованием имитационной отделки методами уплотнения, крашения и глубокой печати» (ИФЗ 17–664).

**Цель и задачи исследования.** *Целью исследования* являлась разработка технологии терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий, направленная на сокращение продолжительности производственного цикла и получения качественной продукции.

Для достижения цели сформулированы и решены следующие *задачи*:

– исследовать проникающую способность инфракрасного излучения через слои различных лакокрасочных материалов; выявить диапазоны длин волн с достаточным значением проникающей способности и выбрать излучатели, генерирующие инфракрасное излучение в установленных диапазонах;

– создать опытную установку, позволяющую измерить температуру на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» и «покрытие – древесина», и исследо-



вать механизм терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на древесину хвойных и лиственных пород;

– определить минимальную продолжительность предварительной выдержки и установить влияние толщины сырой пленки и расстояния между излучателем и образцом на продолжительность пленкообразования лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность древесины;

– смоделировать процесс пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов при терморadiационном нагреве; определить и обосновать технологические режимы терморadiационного отверждения водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий;

– создать экспериментальный промышленный модуль терморadiационной сушильной камеры и с его использованием провести опытно-промышленное испытание разработанных технологических режимов терморadiационного пленкообразования лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий.

#### **Объект и предмет исследования.**

*Объект исследования* – акриловые водно-дисперсионные и полиуретановые лакокрасочные материалы, поверхности пластин и оконных блоков из древесины хвойных и лиственных пород.

*Предмет исследования* – время полного пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий, при терморadiационном воздействии.

#### **Научная новизна:**

1. Предложен способ, позволяющий по установленному диапазону длин волн инфракрасного излучения подобрать излучатели, применение которых обеспечит значительное сокращение времени отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов с сохранением качества поверхности.

2. Впервые получены математические зависимости времени полного высыхания лакокрасочных материалов от расстояния между излучателем и образцом и толщины наносимой сырой пленки, позволяющие установить этот параметр для акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на древесные образцы, в процессе терморadiационной сушки.

3. Для установления времени полного пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов в процессе терморadiационного нагрева покрытия впервые разработана опытная установка, позволяющая измерять температуру на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» и «покрытие – древесина».

4. Впервые разработан экспериментальный модуль сушильной камеры, позволяющий исследовать технологические режимы терморadiационного пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий в производственных условиях за счет проведения энергетического обследования поверхности лакокрасочного покрытия и измерения температуры на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» и «покрытие – древесина».

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Обоснованный выбор инфракрасных излучателей, применение которых обеспечивает сокращение времени пленкообразования водно-дисперсионных (с 90 до 30 мин) и полиуретановых (со 120 до 60 мин) лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность древесины лиственных и хвойных пород.

2. Созданная опытная установка, позволяющая оценить изменение температуры во времени на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» и «покрытие – древесина» и исследовать влияние толщины сырого слоя лакокрасочных материалов и расстояния между излучателем и образцом на продолжительность пленкообразования лакокрасочных материалов, нанесенных на древесину, при терморadiационном воздействии.

3. Установленные математические зависимости, позволяющие определить влияние изменения расстояния между излучателем и образцом и толщины наносимого слоя на продолжительность процесса пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, и регулировать технологический процесс отделки.

4. Разработанные режимы терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов позволили сократить производственный цикл отделки столярно-строительных изделий и обеспечить высокое качество лакокрасочного покрытия. Например, время цикла терморadiационной сушки акриловых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов составило 30 мин (выдержка + сушка), а полиуретановых: 11–16 мин на первый слой и 46–54 мин на второй соответственно.

5. Опытно-производственная апробация разработанных для ЗАО «Виндо-Вуд» режимов терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, показавшая сокращение производственного цикла отделки столярно-строительных изделий в 2 раза, уменьшение мощности, потребляемой на сушку 1 м<sup>2</sup> лакокрасочного покрытия, в 4 раза, увеличение производительности линии отделки в 1,5 раза, что позволило получить ожидаемый экономический эффект в размере 58 815,85 руб. в ценах на сентябрь 2017 г.

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Соискатель принимал непосредственное участие в формулировании целей и задач исследований, осуществлял планирование эксперимента, реализацию его в лабораторных и промышленных услови-

ях, обработку и анализ экспериментальных данных; участвовал в создании экспериментального промышленного модуля терморadiационной сушильной камеры, технологических режимов, в апробации результатов исследований в производственных условиях; участвовал в подготовке публикаций по результатам исследований; выступил с докладами на научных конференциях. В соавторстве соискателем подготовлена заявка на полезную модель: «Терморadiационная сушильная установка для лакокрасочных покрытий изделий из древесины» (№ и 20180033 от 06.02.2018).

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты диссертационной работы обсуждены на научно-технических конференциях по итогам научно-исследовательских работ на Международной научно-технической конференции «Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии» (Минск, 2010 г.), на Международной научно-технической конференции «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2014 г., Белорусско-российский университет), на Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Россия, г. Вологда, 2014 г.), на Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии деревообрабатывающей промышленности и механизации процессов в лесном комплексе» Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко (Харьков, 2015 г.), на Международной научно-технической конференции Национального лесотехнического университета Украины (Львов, 2017 г.), в Белорусском государственном технологическом университете в 2013–2018 гг., на Республиканской научной конференции студентов и аспирантов Республики Беларусь «НИРС-2016», на 68-й научно-технической конференции учащихся, студентов и магистрантов секция «Технологии и техники лесной промышленности» (Минск, 2017 г.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По вопросам, относящимся к теме диссертации, опубликовано 9 печатных работ, в том числе: 5 статей в рецензируемых журналах, включенных в перечень ВАК (2,08 авторских листа), 2 материала международных научно-технических конференций, 2 тезиса докладов в сборниках.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 214 страницах, содержит 49 иллюстраций на 20 страницах, 16 таблиц на 8 страницах, 11 приложений на 81 странице. Библиографический список включает список использованных источников из 106 наименований на 8 страницах, и список публикаций соискателя из 10 наименований на 2 страницах.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во **введении** дана общая оценка состояния проблемы. Обоснованы актуальность темы и необходимость проведения исследований.

**Первая глава** посвящена рассмотрению основных применяемых лакокрасочных материалов (ЛКМ) при отделке столярно-строительных изделий (ССИ), режимных параметров и наиболее распространенных способов интенсификации отверждения и соответствующего оборудования. Показано, что в производстве ССИ широко применяются акриловые водно-дисперсионные (ВД-АК) лакокрасочные материалы, которые образуют защитно-декоративное покрытие за счет испарения воды и протекания процесса коалесценции, а также полиуретановые (ПУР) ЛКМ, отверждаемые за счет испарения растворителей и разбавителей и протекания реакции полиприсоединения.

Опубликованные результаты научных исследований по вопросам терморрадиационной сушки ВД-АК и ПУР ЛКМ, нанесенных на древесину, малочисленны и носят частный характер. Отсутствие достаточно обоснованного выбора инфракрасных (ИК) излучателей и технологических режимов сушки лакокрасочных покрытий привело к ограничению применения этой технологии в отношении ССИ. Проведение исследований по выбранному направлению позволит исследовать процесс терморрадиационной сушки ВД-АК и ПУР ЛКМ на древесных поверхностях, сократить производственный цикл и минимизировать энергозатраты на сушку. Внедрение терморрадиационных сушильных камер и разработанных технологических режимов на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь позволит повысить эффективность производств, снизить себестоимость продукции и увеличить конкурентоспособность ССИ с сохранением требуемого качества изделий.

На основании анализа информационных источников сформулирована цель диссертационных исследований и задачи для ее реализации.

**Вторая глава** посвящена объектам и методам проведения исследований, а также дается характеристика используемых материалов и применяемого оборудования. Объектами исследования являлись ВД-АК краска Remmers DW-601/50 (белая), ВД-АК краска Remmers DW-601/20 (коричневая), двухкомпонентный ПУР лак Renner FOXX M003 и двухкомпонентный ПУР грунт Renner FL M003, образцы из древесины хвойных и лиственных пород, оконные блоки ОД 1О 15-9 ССП из древесины сосны и дуба. Испытания опытных образцов проводили по Межгосударственным стандартам и европейским методикам в лабораториях Белорусского государственного технологического университета на поверенных приборах.

Определение проникающей способности ИК излучения через сырой и высушенный слой ЛКМ и установление диапазона с допустимым значением этого параметра основано на применении методики инфракрасной спектроскопии по-

лимеров и специализированного прибора – ИК-Фурье микроскопа Nicolet iN 10 (Thermo Scientific, США).

Для оценки влияния инфракрасного излучения на нагрев поверхности образца была применена методика контактного измерения температуры на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» (ЛКП) и «ЛКП – древесина».

Для выполнения в лабораторных условиях экспериментальных исследований по установлению времени полного высыхания ЛКП разработана и создана опытная установка, которая позволила определить этот параметр для ВД-АК и ПУР ЛКМ, при нанесении их на образцы из древесины хвойных и лиственных пород (размером 110×60×18 мм, относительной влажностью  $(8 \pm 2)\%$ , шероховатостью поверхности  $R_{m \max} \leq 16$  мкм).

Были применены контактные и бесконтактные методы для определения динамики нагрева/охлаждения и измерения рабочей температуры ИК-излучателей. Для установления распределения температуры по поверхности образца использованы методики контактного и энергетического обследования с применением фотомодуля тепловизора FLIR Thermacam E300.

Математическое планирование экспериментальных исследований было выполнено на основании применения *B*-плана второго порядка. Проверка однородности дисперсий опытных данных выполнена по *G*-критерию Кохрена. Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по *F*-критерию Фишера с доверительной вероятностью  $p = 95\%$ .

Применяемые методики и структура проведения экспериментальных исследований позволили оценить влияние переменных факторов на время пленкообразования ЛКМ, качество поверхности покрытия и разработать практические рекомендации по повышению эффективности формирования защитно-декоративных покрытий ССИ терморadiационным способом.

В **третьей главе** представлены результаты экспериментальных исследований, которые в дальнейшем были использованы при разработке технологических режимов терморadiационного отверждения.

Проведенные исследования по определению проникающей способности ИК-излучения через сырой слой ЛКМ показали, что допустимые значения этого параметра находятся в диапазонах длин волн 1500–2800 нм и 3800–5400 нм. Согласно европейской схеме деления инфракрасного излучения ISO 20437 полученные диапазоны соответствуют ближней (NIR) и средней (MIR) инфракрасной области излучения.

По полученным результатам и техническим характеристикам оборудования для проведения дальнейших исследований были выбраны несколько типов ИК излучателей (керамический и галогеновый с красной кварцевой колбой), генерирующих излучение в необходимых областях.

Опираясь на стандартную методику определения времени и степени высыхания ЛКП (ГОСТ 17537–1972) были проведены предварительные исследования на стеклянных пластинах (размером 90×120×4 мм), которые подтвердили высокую эффективность применения технологии терморadiационного нагрева для пленкообразования ВД-АК и ПУР ЛКМ. Для проведения предварительных испытаний был использован керамический ИК излучатель (температура рабочей поверхности 700°С, мощность 1000 Вт) с отражателем из нержавеющей стали. В ходе эксперимента было установлено, что на время отверждения ЛКП оказывают влияние следующие факторы: толщина наносимого слоя, цвет и вид ЛКМ, а также энергетическая освещенность поверхности образца (Вт/см<sup>2</sup>) (таблица 1). Согласно закону обратных квадратов, энергетическая освещенность поверхности будет обратно пропорциональна квадрату расстояния от точечного изотропного источника излучения до этой поверхности. Учитывая вышесказанное, было принято решение в качестве переменного фактора использовать расстояние между излучателем и поверхностью образца.

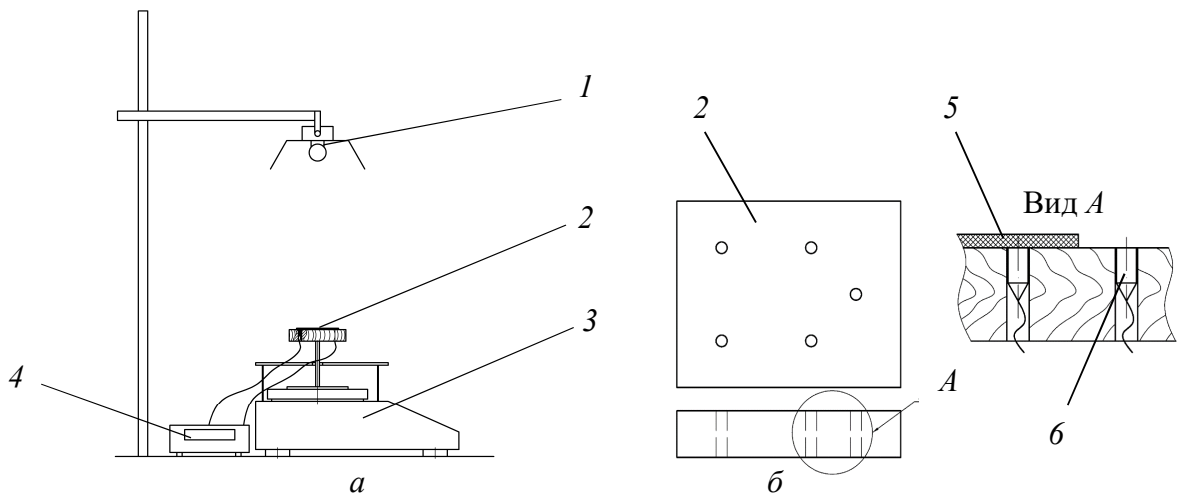
Таблица 1. – Результаты испытаний по определению времени полного высыхания ВД-АК и ПУР ЛКМ

Среднее время пленкообразования ЛКМ	Высота излучателя, мм, над поверхностью при толщине сырого слоя ЛКП 200 мкм			Высота излучателя, мм, над поверхностью при толщине сырого слоя ЛКП 300 мкм		
	300	400	500	300	400	500
Remmers DW-601/20, мин	12,0 ± 0,5	20,0 ± 0,5	30,0 ± 0,5	13,0 ± 0,5	35,0 ± 0,5	35,0 ± 0,5
Remmers DW-601/50, мин	13,0 ± 0,5	25,0 ± 0,5	35,0 ± 0,5	18,0 ± 0,5	40,0 ± 0,5	50,0 ± 0,5
Renner FOXX M003, мин	9,5 ± 0,5	10,5 ± 0,5	11,0 ± 0,5	12,0 ± 0,5	18,0 ± 0,5	19,5 ± 0,5
Renner FOXX FL M003, мин	12,5 ± 0,5	13,5 ± 0,5	13,5 ± 0,5	18,0 ± 0,5	24,0 ± 0,5	30,0 ± 0,5

Согласно технической информации при использовании конвективной технологии сушки время пленкообразования для ВД-АК и ПУР ЛКМ находится в диапазоне от 90 до 120 мин (при температуре сушильного агента 35°С и относительной влажности воздуха (55 ± 5)%). Проведение предварительных исследований показало, что использование терморadiационного нагрева позволяет значительно (в 2–3 раза) интенсифицировать процесс сушки ЛКМ.

Для повышения эффективности технологии терморadiационного отверждения ЛКМ и установления времени полного пленкообразования ВД-АК и ПУР ЛКМ на образцах из древесины был предложен оригинальный способ, заключающийся в измерении температуры на границах «воздух – ЛКП» и «ЛКП – древесина».

Для выполнения поставленной задачи была собрана опытная установка и подготовлены образцы из древесины, представленные на рисунке 1.

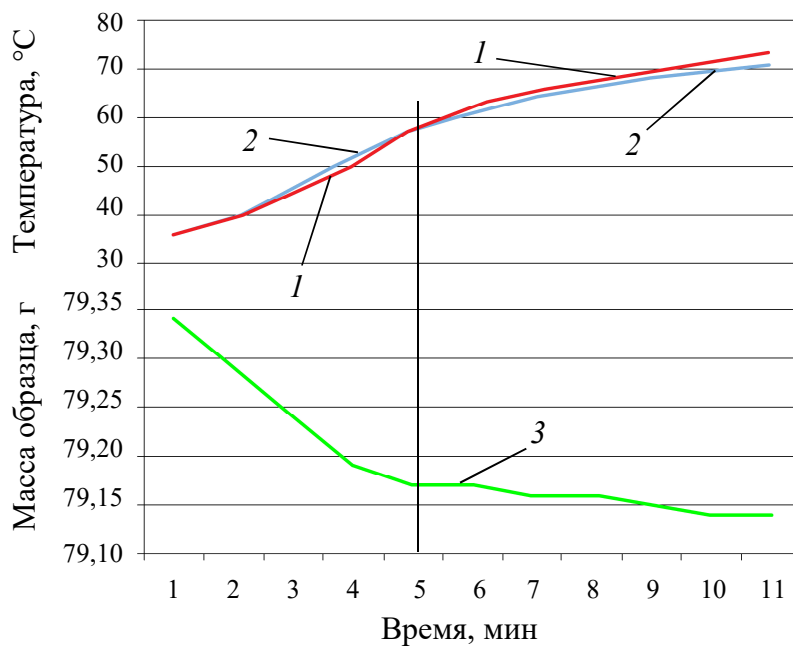


**1** – галогеновый инфракрасный излучатель с отражателем; **2** – образец из древесины;  
**3** – аналитические весы; **4** – прибор для измерения температуры;  
**5** – лакокрасочное покрытие; **6** – датчик

**Рисунок 1.** – Схема лабораторной установки (*а*) и расположения датчиков в образце (*б*)

В ходе эксперимента каждую минуту фиксировали массу древесного образца с нанесенным ЛКП и регистрировали показания датчиков температуры, введенных в образец. В качестве излучателя была применена промышленная ИК-галогеновая лампа с красной кварцевой колбой, имеющая мощность 1000 Вт.

По полученным результатам были построены кривые изменения температуры и массы от времени проведения испытания для каждого древесного образца. Один из таких графиков приведен на рисунке 2.



**Рисунок 2.** – Зависимость изменения массы образца (**3**) и роста температуры на границах «воздух – ЛКП» (**1**) и «ЛКП – древесина» (**2**) от времени проведения исследования

Оценивая изменение температуры можно заметить, что в начальный момент времени температура, измеряемая датчиками, одинакова. После включения излучателя температура на границе «ЛКП – древесина» растет быстрее, чем на границе «воздух – ЛКП» за счет того, что жидкий слой покрытия в начальный момент времени прозрачен для инфракрасного излучения. По мере высыхания ЛКП толщина жидкого слоя уменьшается, переходя сначала в гелеобразное, а затем в твердое состояние, тем самым образуя барьер для излучения. В результате температура датчиков постепенно выравнивается и точку пересечения температурных кривых можно считать точкой полного высыхания ЛКП.

Согласно этой методике были проведены исследования, результаты которых представлены в таблице 2. Для сравнения эффективности излучателей были применены керамический (рабочая температура 700°C, мощность 1000 Вт) и галогеновый с красной кварцевой колбой (рабочая температура на поверхности кварцевой колбы 400°C, температура нити накала ~2000°C, мощность 1000 Вт).

Таблица 2. – Результаты исследований по установлению времени полного высыхания ВД-АК и ПУР ЛКМ

Среднее время пленкообразования ЛКМ (вид излучателя)	Высота излучателя, мм, над поверхностью при толщине сырого слоя 200 мкм:			Высота излучателя, мм, над поверхностью при толщине сырого слоя 300 мкм:		
	300	400	500	300	400	500
Remmers DW-601/20 (керам.), мин	14 ± 0,5	22 ± 0,5	–	14 ± 0,5	23 ± 0,5	–
Remmers DW-601/50 (керам.), мин	16 ± 0,5	28 ± 0,5	–	20 ± 0,5	36 ± 0,5	–
Renner FOXX M003 (керам.), мин	12 ± 0,5	20 ± 0,5	–	14 ± 0,5	21 ± 0,5	–
Remmers DW-601/20 (гал.), мин	7 ± 0,5	13 ± 0,5	16 ± 0,5	8 ± 0,5	16 ± 0,5	17 ± 0,5
Remmers DW-601/50 (гал.), мин	8 ± 0,5	17 ± 0,5	20 ± 0,5	9 ± 0,5	19 ± 0,5	21 ± 0,5
Renner FOXX M003 (гал.), мин	7 ± 0,5	12 ± 0,5	15 ± 0,5	7 ± 0,5	16 ± 0,5	17 ± 0,5

Согласно полученным результатам можно утверждать, что применение галогенового ИК-излучателя позволяет в большей степени ускорить процесс сушки лакокрасочного покрытия. Из таблицы видно, что при расстоянии между керамическим излучателем и образцом в 500 мм эффект от применения лампы не наблюдался, а покрытие высыхало фактически при естественных условиях. Это связано с тем, что энергия, передаваемая через поверхность единичной площадки за единицу времени (плотность потока излучения), уменьшается по мере удаления от источника. Плотность потока излучения от точечного источника убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до источника.

ЛКМ, в состав которых входят пигменты темного цвета, высыхают быстрее (на 1–2 мин), чем те, которые содержат более светлые. Это обусловлено природой



темных пигментов и большим поглощением спектра падающего электромагнитного излучения.

При сравнении времени отверждения одной и той же краски, но разной толщины можно заметить, что излучение, созданное керамическим излучателем, обладает более низкой проникающей способностью, что вызывает увеличение времени отверждения на 2–8 мин при прочих равных условиях. Для галогенового излучателя эта разница составляет 1–3 мин.

Было замечено, что слишком близкое расположение источника излучения к поверхности древесного образца вызывает образование таких дефектов, как проколы, пузыри, кратеры и пробитие смолы (для хвойных пород).

В связи с этим были проведены исследования по оценке влияния времени предварительной выдержки и расстояния между излучателем и образцом на качество поверхности ЛКП.

Предварительную выдержку образцов с нанесенным сырым слоем ЛКМ проводили 5 и 10 мин. Поверхности образцов фотографировали до и после испытаний. На представленных фото (рисунок 3) видно, что при выдержке 5 мин на поверхности наблюдается появление дефектов, в то время как при предварительной выдержке в 10 мин поверхность лакокрасочного покрытия чистая, однородная.

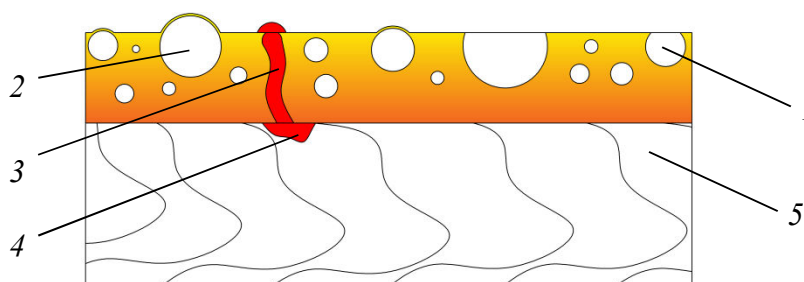


Рисунок 3. – Поверхность высушенного покрытия при выдержке 5 мин (а) и 10 мин (б)

Фиксирование ИК-излучателя над образцом на расстоянии 300 мм также вызвало появление многочисленных дефектов. Это связано с тем, что при отверждении лакокрасочного покрытия на первой стадии идет активное испарение растворителя за счет сообщения большого количества энергии поверхности древесины. При этом образуются пузырьки испаренного разбавителя, которые начинают перемещаться из нижних слоев к верхним. Также при нанесении ЛКМ в порах древесины могут содержаться пузырьки воздуха, которые при нагревании будут подниматься в сторону поверхности покрытия. Поскольку процесс довольно быстро протекает (как описано выше, для данной высоты первая стадия длится 6–8 мин), то пузырьки частично выходят на поверхность или остаются в толще слоя, образуя пористую структуру, как показано на рисунке 4.

Результаты исследования по выдержке образцов показали, что при значении этого параметра, равном 10 мин, на поверхности ЛКП дефектов не наблюдалось. Это

связано с тем, что за данное время большая часть летучих веществ успевает испариться, а само покрытие перейти в гелеобразное состояние. Совокупность этих факторов способствует улучшению качества высушиваемой поверхности ВД-АК и ПУР ЛКМ.



1 – кратер; 2 – пузырь; 3 – пробитие смолы; 4 – смоляной ход; 5 – древесина

Рисунок 4. – Общий вид структуры покрытия

Такой дефект, как пробитие смолы, возникал в результате перегрева поверхности древесины хвойных пород. При проведении эксперимента температуру фиксировали при помощи пирометра Raytek Raynger ST. Исследования показали, что при расстоянии между излучателем и образцом 300 мм поверхность покрытия (для краски Remmers DW 601/20) по прошествии 15 мин нагревается в среднем до 74°C, а для краски Remmers DW 601/50 – 61,4°C. Из литературных источников известно, что температура размягчения и плавления древесной смолы находится в пределах 50–60°C. Поскольку температура на поверхности древесины выше нормативного значения, то происходит плавление смолы и ее дальнейшее «пробитие» через покрытие. Для ликвидации этого дефекта было решено увеличить дистанцию между источником излучения и поверхностью образца, что позволило снизить температуру до уровня 45–47°C. Вследствие этого, на поверхности не наблюдалось появление такого дефекта.

Для создания модуля промышленной установки терморadiационной сушки ЛКП ССИ были предварительно оценены такие свойства применяемого оборудования, как динамика нагрева/охлаждения излучателей, рабочая температура поверхности излучателя, распределение температуры по поверхности древесины.

Проведенные исследования показали, что использование галогенового излучателя позволяет выйти на стационарный режим работы в течение 3 мин, в то время как керамический достигает рабочей температуры за 15 мин.

Результаты энергетического обследования поверхности с помощью фотомодуля тепловизора FLIR Thermacam E300 представлены на рисунке 5.

Применяемая методика позволила не только измерить температуру на поверхности в различных точках, но и визуально оценить распределение температуры по поверхности. При помощи меток была установлена длина и ширина температурного поля, которые составили: для расстояния 500 мм – 400×300 мм; для расстояния 1000 мм – 400×400 мм.

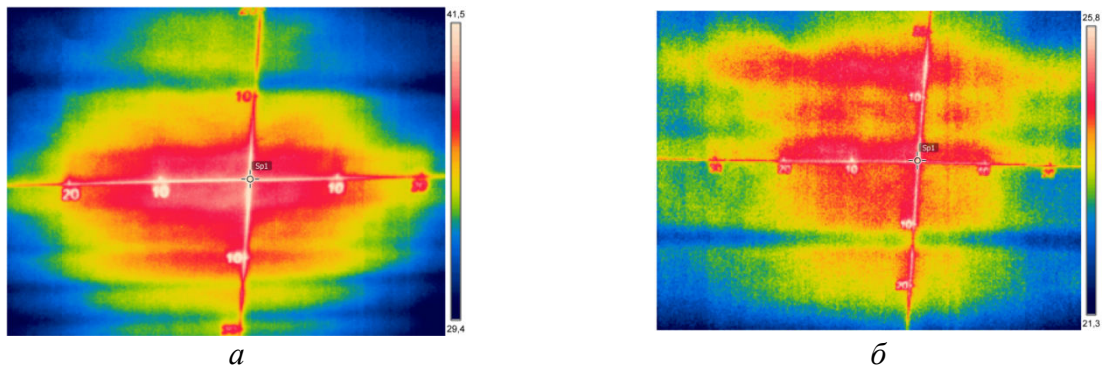


Рисунок 5. – Температурное поле при расстоянии между излучателем и поверхностью 500 мм (а) и 1000 мм (б) после 15 мин нагрева

Полученные результаты были использованы при создании экспериментального модуля терморрадиационной сушильной установки.

**Четвертая глава** посвящена разработке технологического режима отверждения ВД-АК и ПУР ЛКП.

В результате планирования и проведения эксперимента по *B*-плану были получены уравнения регрессии (1–3) второго порядка и поверхности отклика, отражающие зависимость времени полного высыхания ЛКМ ( $t$ , мин) от расстояния между излучателем и образцом ( $H$ , мм), а также от толщины ( $h$ , мкм) наносимой сырой пленки ЛКМ:

– для акриловых водно-дисперсионных ЛКМ:

$$t = 0,95 \cdot \left( \frac{h-250}{50} \right) + 4,08 \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right) + 3,62 \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right)^2 + 9,01; \quad (1)$$

– для 1-го слоя полиуретановых материалов:

$$t = 3,00 \cdot \left( \frac{h-150}{50} \right) + 2,33 \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right) - 1,50 \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right)^2 + 1,50 \left( \frac{h-150}{50} \right) \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right) + 14,51; \quad (2)$$

– для 2-го слоя полиуретановых материалов:

$$t = 4,50 \cdot \left( \frac{h-150}{50} \right) + 20,83 \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right) + 1,00 \cdot \left( \frac{h-150}{50} \right) \cdot \left( \frac{H-650}{350} \right) + 58,33. \quad (3)$$

Анализ полученных результатов показал, что основное влияние на время отверждения лакокрасочных материалов оказывает высота расположения излучателя над поверхностью образца ( $H$ ).

Из полученных зависимостей видно, что при увеличении толщины ( $h$ ) наносимого слоя ЛКМ время отверждения незначительно увеличивается (на 1–2 мин). Увеличение расстояния ( $H$ ) между излучателем и образцом будет оказывать большее влияние на время высыхания лакокрасочных покрытий, чем толщина наносимого слоя.

Проведенные ранее исследования и полученные зависимости позволили разработать рекомендации по назначению режимов терморadiационного отверждения ВД-АК и ПУР ЛКМ на поверхности ССИ (таблица 3–4).

Таблица 3. – Режим терморadiационной сушки ВД-АК ЛКМ

Технологическая операция		Remmers DW 601/50	Remmers DW 601/20
Нанесение 1-го и 2-го слоя			
1. Выдержка		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (70 \pm 5)\%$	
2. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	200	
	Время отверждения, мин	20	
3. Охлаждение		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (60 \pm 5)\%$	

Таблица 4. – Режимы терморadiационной сушки ПУР ЛКМ

Технологическая операция		Renner FOXX M003	Renner FL M003
Нанесение 1-го слоя			
1. Выдержка		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (70 \pm 5)\%$	
2. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	100 (200)	
	Время отверждения, мин	11 (16)	
3. Охлаждение		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (60 \pm 5)\%$	
Нанесение 2-го слоя			
4. Выдержка		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (70 \pm 5)\%$	
5. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	100 (200)	
	Время отверждения, мин	46 (54)	
6. Охлаждение		10 мин при $T = (20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , $W = (60 \pm 5)\%$	

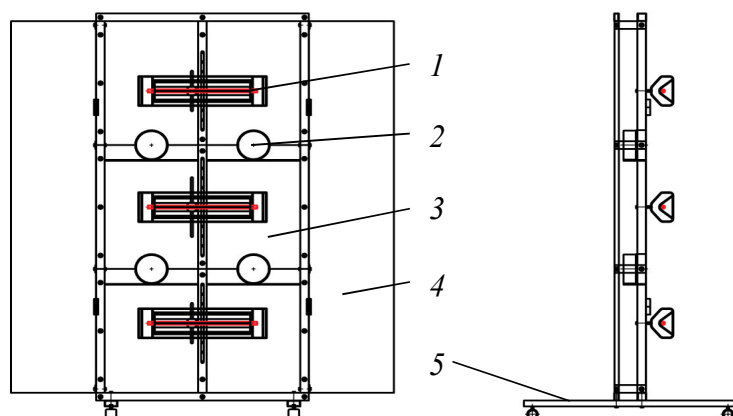
Общая продолжительность полного высыхания одного слоя ВД-АК ЛКМ составила 30 мин (выдержка + сушка). Для ПУР ЛКМ время цикла отверждения зависит от того, на какую поверхность производят нанесение. При создании первого слоя покрытия на древесине цикл сушки составил 11–16 мин. При нанесении второго слоя покрытия – 46–54 мин.

Разработанные технологические режимы терморadiационного отверждения ВД-АК и ПУР ЛКМ, сформированных на поверхности ССИ, позволили значи-

тельно сократить цикл сушки (в сравнении с конвективной: для ВД-АК ЛКМ – в 3 раза, для ПУР – в 2 раза).

**Пятая глава** посвящена созданию экспериментального модуля терморрадиационной сушильной установки, а также проведению опытно-промышленного испытания разработанных технологических режимов и расчету ожидаемого экономического эффекта от внедрения технологии.

Общий вид экспериментального модуля терморрадиационной сушильной установки представлен на рисунке 6.

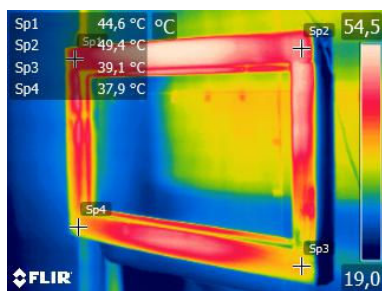


**1** – инфракрасный галогеновый излучатель; **2** – осевой вентилятор; **3** – стационарный отражатель; **4** – подвижный отражатель; **5** – подвижная опора с блокираторами колес

**Рисунок 6.** – Общий вид экспериментального модуля терморрадиационной сушильной установки

Разработанный экспериментальный модуль терморрадиационной сушильной установки и режимы терморрадиационного отверждения лакокрасочных покрытий были апробированы на ЗАО «ВиндоВуд» в рамках проведенного опытно-промышленного испытания.

Использование в ходе испытания методики энергетического обследования позволило оценить распределение температуры по поверхности лакокрасочного покрытия, нанесенного на оконный блок (рисунок 7).



**Рисунок 7.** – Распределение температуры по поверхности оконного блока

Согласно проведенным исследованиям было выявлено, что температура по поверхности образца распределяется равномерно; тепловая энергия в большом количестве передается древесине и вызывает тем самым нагрев поверхности. При расположении образца параллельно излучателю появляются зоны тени. В связи с этим в конструкцию сушильного модуля были добавлены дополнительные боковые отражатели,

которые позволили устранить этот недостаток. Разработанные режимы не вызвали появления дефектов на поверхности покрытия.

Проведенное опытно-промышленное испытание подтвердило более высокую эффективность технологии терморadiационного отверждения акрилового водно-дисперсионного покрытия оконных блоков в сравнении с конвективной при сохранении высокого качества изделий.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения технологии терморadiационного отверждения ВД-АК покрытий на ЗАО «ВиндоВуд» составил 58 815,85 руб. из расчета на 15 180 шт. оконных блоков (в ценах на сентябрь 2017 г.). Результаты опытно-промышленного испытания свидетельствуют о практической и экономической значимости проведенных исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации:

1. Исследования проникающей способности инфракрасного излучения через сырой и высушенный слой акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов позволили выявить диапазоны длин волн (коротковолновый 1500–2800 нм и средневолновый 3800–5400 нм), достаточные для проникновения излучения через слой лакокрасочных материалов, и подобрать излучатели, способные генерировать инфракрасное излучение преимущественно в найденных диапазонах. Это позволило ускорить процесс сушки лакокрасочных покрытий с сохранением качества образуемой пленки [1, 2, 6, 7, 8].

2. Создана лабораторная установка, позволившая измерить температуру на границах «воздух – лакокрасочное покрытие» и «покрытие – древесина», и исследовать механизм терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на древесину хвойных и лиственных пород [3].

2.1. Установлено, что основное влияние на скорость пленкообразования оказывают: толщина сырой пленки лакокрасочных материалов, цвет лакокрасочных материалов, расстояние между излучателем и древесным образцом, а также вид излучателя [3].

2.2. Использование галогенового с красной кварцевой колбой и керамического инфракрасных излучателей позволяет сократить время пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов с 90–120 мин (конвективной сушки) до 5–25 мин при толщине сырого слоя  $S = 100–300$  мкм и расстоянии между излучателем и образцом  $H = 300–1000$  мм [3].

2.3. Установлено минимальное расстояние между излучателем и образцом (500 мм), позволяющее сократить процесс пленкообразования без потери качества поверхности [3].

2.4. При оценке влияния времени предварительной выдержки образцов (температура окружающей среды  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$  относительная влажность воздуха  $(70 \pm 5)\%$ ) на качество поверхности после высыхания была установлена минимальная продолжительность выдержки, равная 10 мин [3, 5].

3. Установлено влияние расстояния между излучателем и образцом, а также толщины наносимого слоя на продолжительность процесса пленкообразования акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, что позволяет регулировать технологический процесс отделки [3, 4].

4. Разработаны режимы терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, позволившие сократить производственный цикл отделки столярно-строительных изделий и обеспечить высокое качество лакокрасочного покрытия: продолжительность цикла терморadiационной сушки акриловых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов 30 мин (выдержка + сушка), полиуретановых – 11–16 мин для первого слоя и 46–54 мин для второго соответственно [4, 5].

5. Полученные на опытной установке результаты исследований были использованы для разработки экспериментального модуля терморadiационной сушильной камеры, который был установлен в промышленных условиях ЗАО «ВиндоВуд» (г. Борисов, Минская обл.) и позволил провести промышленные испытания [5, 9, 10].

6. Промышленные испытания в условиях ЗАО «ВиндоВуд» разработанных технологических режимов терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных лакокрасочных материалов подтвердили снижение продолжительности производственного цикла сушки с 90–120 мин (при конвективном способе) до 30 мин. Меньшее потребление энергии и сокращение времени пленкообразования лакокрасочных материалов позволяют получить экономический эффект в размере 58 815,85 руб. при годовом объеме производства оконных блоков 15 180 шт. (расчет проведен в ценах на сентябрь 2017 г.) [5].

#### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Разработанная технология терморadiационного отверждения акриловых водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных покрытий, нанесенных на столярно-строительные изделия, рекомендуется к использованию на деревообрабатывающих предприятиях с целью повышения эффективности формирования защитно-декоративных покрытий столярно-строительных изделий.

**СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ****Статьи в научных журналах, входящих в перечень ВАК**

1. Прохорчик, С. А. Эффективность применения терморadiационного отверждения лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Вісник ХНТУСГ. – 2015. – Вип. 160. – С. 67–71.

2. Прохорчик, С. А. Влияние терморadiационного воздействия на время отверждения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Труды БГТУ. Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2016. – № 2. – С. 183–186.

3. Прохорчик, С. А. Интенсификация отверждения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на древесине терморadiационным способом / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2017. – № 2. – С. 266–272.

4. Чуйков, А. С. Моделирование процесса отверждения водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов при терморadiационном нагреве / А. С. Чуйков, С. А. Прохорчик // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. – Вип. 27 (5). – С. 89–92.

5. Чуйков, А. С. Разработка конструкции модуля терморadiационной камеры для сушки лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий / А. С. Чуйков, С. А. Прохорчик // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – № 1. – С. 64–70.

**Материалы конференций и тезисы докладов**

6. Прохорчик, С. А. Интенсификация процесса отверждения лакокрасочных материалов для изделий из древесины / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 25–27 ноября 2009 г. / Белор. гос. технол. ун-т. – Минск, 2009. – С. 106–109.

7. Прохорчик, С. А. Основные способы отверждения покрытий столярно-строительных изделий из древесины / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 апреля 2014 г. / Белорусско-российский ун-т ; редкол. : И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев, 2014. – С. 122–123.

8. Прохорчик, С. А. Метод оценки проникающей способности инфракрасного излучения через слой лакокрасочного материала / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса : материалы Междунар. науч.-техн. конф., Вологда, 2–3 декабря 2014 г. / Волог. гос. ун-т ; редкол. : Р. В. Дерягин (гл. ред.) [и др.]. – Вологда, 2015. – С. 137–138.

9. Гайдук, А. И. Построение 3D модели инфракрасной сушильной установки с использованием программы 3DS MAX / А. И. Гайдук, А. С. Чуйков // 68-я науч.-



техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов : сб. науч. работ : в 4 ч. – Минск : Белор. гос. технол. ун-т , 2017. – С. 202–204.

### **Заявки на изобретения**

10. Терморadiационная сушильная установка для лакокрасочных покрытий изделий из древесины : заявка на полезную модель. Респ. Беларусь, МПК (2018) F 26B 3/30 / А. С. Чуйков, С. А. Прохорчик, С. В. Шетько; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. – № и 20180033 от 06.02.2018.

## РЭЗІЮМЭ

Чуйкоў Аляксей Сяргеевіч

**Павышэнне эфектыўнасці фарміравання ахоўна-дэкаратыўных пакрыццяў  
сталярна-будаўнічых вырабаў тэрмаадзіяцыйным спосабам**

**Ключавыя словы:** водна-дысперсійныя акрылавыя лакафарбавыя матэрыялы, поліўрэтанавыя лакафарбавыя матэрыялы, тэрмаадзіяцыйны нагрэў, інфрачырвоная выпраменьванне, тэхналагічныя рэжымы, тэрмаадзіяцыйная сушыльная ўстаноўка, сталярна-будаўнічыя вырабы.

**Мэта даследавання:** распрацоўка тэхналогіі тэрмаадзіяцыйнага ацвярджэння водна-дысперсійных і поліўрэтанавых лакафарбавых матэрыялаў, нанесеных на паверхню сталярна-будаўнічых вырабаў, накіраваная на скарачэнне працягласці вытворчага цыкла і атрымання якаснай прадукцыі.

**Метады даследавання і выкарыстаная апаратура:** для планавання эксперыменту выкарыстаны *B*-план другога парадку. Для ацэнкі ўплыву зменных фактараў на час поўнага высыхання лакафарбавых пакрыццяў ужываліся: метады інфрачырвонай спектраскапіі, лабараторная ўстаноўка для вымярэння тэмпературы на межах «паветра – пакрыццё» і «пакрыццё – драўніна», метады кантактнага і энергетычнага абследавання паверхні, цеплавізар Flir Thermacam E300, пірометр Raytek Raynger ST.

**Навуковая навізна атрыманых вынікаў:** даследавана пранікальная здольнасць інфрачырвонага выпраменьвання праз сыры і высушаны пласт водна-дысперсійных акрылавых і поліўрэтанавых лакафарбавых матэрыялаў, якая дазволіла навукова абгрунтаваць выбар інфрачырвоных выпраменьвальнікаў. Распрацавана лабараторная ўстаноўка для вымярэння тэмпературы на межах «паветра – пакрыццё» і «пакрыццё – драўніна» падчас тэрмаадзіяцыйнага нагрэву, што дазволіла знайсці час поўнага ацвярджэння доследных лакафарбавых матэрыялаў. Вызначаны ўплыў адлегласці паміж выпраменьвальнікамі і ўзорам і таўшчыні лакафарбавага слоя на працягласць працэсу ацвярджэння лакафарбавых матэрыялаў. Распрацаваны эксперыментальны модуль сушыльнай камеры, што дазваляе даследаваць тэхналагічныя рэжымы тэрмаадзіяцыйнага ацвярджэння доследных лакафарбавых матэрыялаў, і вызначыць эфектыўнасць распрацаванай тэхналогіі.

**Ступень выкарыстання:** распрацаваныя тэхналагічныя рэжымы тэрмаадзіяцыйнага ацвярджэння і эксперыментальны сушыльны модуль былі апрабаваны прамысловымі выпрабаваннямі на ЗАТ «ВіндаВуд».

**Галіна выкарыстання:** дрэваапрацоўчыя прадпрыемствы, якія вырабляюць мэблевыя і сталярна-будаўнічыя вырабы.

**РЕЗЮМЕ****Чуйков Алексей Сергеевич****Повышение эффективности формирования защитно-декоративных покрытий столярно-строительных изделий терморadiационным способом**

**Ключевые слова:** водно-дисперсионные акриловые лакокрасочные материалы, полиуретановые лакокрасочные материалы, терморadiационный нагрев, инфракрасное излучение, технологические режимы, терморadiационная сушильная установка, столярно-строительные изделия.

**Цель исследования:** разработка технологии терморadiационного отверждения водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов, нанесенных на поверхность столярно-строительных изделий, направленная на сокращение продолжительности производственного цикла и получения качественной продукции.

**Методы исследования и использованная аппаратура:** для планирования эксперимента применен *B*-план второго порядка. Для оценки влияния переменных факторов на время полного высыхания лакокрасочных покрытий применялись: метод инфракрасной спектроскопии, лабораторная установка для измерения температуры на границах «воздух – покрытие» и «покрытие – древесина», методика контактного и энергетического обследования поверхности, тепловизор Flir Thermacam E300, пирометр Raytek Raynger ST.

**Научная новизна полученных результатов:** исследована проникающая способность инфракрасного излучения через сырой и высушенный слой водно-дисперсионных акриловых и полиуретановых лакокрасочных материалов, позволившая научно обосновать выбор инфракрасных излучателей. Разработана лабораторная установка для измерения температуры на границах «воздух – покрытие» и «покрытие – древесина» в процессе терморadiационного нагрева, позволившая установить время полного пленкообразования исследуемых лакокрасочных материалов. Установлено влияние расстояния между излучателем и образцом и толщины наносимого слоя на продолжительность процесса пленкообразования лакокрасочных материалов. Разработан экспериментальный модуль сушильной камеры, позволяющий исследовать технологические режимы терморadiационного пленкообразования исследуемых лакокрасочных материалов, и установить эффективность разработанной технологии.

**Степень использования:** разработанные технологические режимы терморadiационного отверждения и экспериментальный сушильный модуль были апробированы опытно-промышленными испытаниями на ЗАО «ВиндоВуд».

**Область применения:** деревообрабатывающие предприятия, производящие мебельные и столярно-строительные изделия.

**SUMMARY**  
**Aleksey S. Chuykov**

**Increase in the efficiency of the formation of protective and decorative coatings  
for carpentry and building products by the thermoradiation method**

**Key words:** water-based acrylic paintwork materials, polyurethane paintwork materials, thermoradiation heating, infrared radiation, technological modes, thermoradiation drying plant, woodworking and building products.

**The purpose of the research:** development of technology for the thermoradiation curing of water-dispersion and polyurethane coatings applied to the surface of carpentry products, aimed at shortening the duration of the production cycle and obtaining high-quality products.

**Methods of research and used equipment:** for the planning of the experiment, a second-order B-plan is used. To assess the influence of variable factors on the time of complete drying of paint and varnish coatings, the following methods were used: infrared spectroscopy method, laboratory installation for measuring “air – coating” temperature and “coating – wood”, contact and energy survey, Flir Thermacam E300 thermal imager, Raytek Raynger ST pyrometer.

**Scientific novelty of the obtained results:** The penetrating ability of infrared radiation through a moist and dried layer of water-dispersed acrylic and polyurethane coatings has been studied, which has made it possible to scientifically justify the choice of infrared emitters. A laboratory installation was developed for measuring the temperature at the “air – coating” and “coating – wood” interfaces in the process of thermoradiation heating, which made it possible to establish the time for complete film formation of the paint materials under study. The influence of the distance between the emitter and the sample and the thickness of the deposited layer on the duration of the process of film formation of paint and varnish materials is determined. An experimental module of the drying chamber has been developed, which makes it possible to investigate the technological regimes of the thermoradiation film formation of the paint materials under study, and to establish the efficiency of the developed technology.

**Efficiency:** the developed technological modes of thermoradiation curing and the experimental drying module have been approved by pilot-industrial tests at closed joint-stock company “WindoWood”.

**Field of application:** woodworking enterprises that produce furniture and carpentry products.

Научное издание

**Чуйков** Алексей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАЩИТНО-  
ДЕКОРАТИВНЫХ ПОКРЫТИЙ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ  
ИЗДЕЛИЙ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.21.05 – древесиноведение, технология  
и оборудование деревопереработки

Ответственный за выпуск *А. С. Чуйков*

Подписано в печать 02.05.2018. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 1,5. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 60 экз. Заказ 127.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/227 от 20.03.2014.  
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.