

УДК 667.635:674.21

**С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков**

Белорусский государственный технологический университет

**ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ  
ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
НА ДРЕВЕСИНЕ ТЕРМОРАДИАЦИОННЫМ СПОСОБОМ**

Терморadiационное отверждение является перспективным направлением в сушке лакокрасочных покрытий. Суть данного метода заключается в передаче большого количества тепловой энергии древесине, на которую нанесен слой лакокрасочного материала. За счет этого процесс высыхания длится интенсивнее, что было подтверждено более ранними исследованиями.

Авторами отмечено, что основная сложность была связана с решением задачи по определению времени отверждения лакокрасочного покрытия до третьей степени высыхания. При установлении данного показателя стандартная методика не подходит, так как подготовку образцов необходимо проводить на стеклянных пластинах, а не на древесине. В связи с этим появилась необходимость разработки методики для установления времени высыхания лакокрасочных покрытий, созданных на древесине, что и послужило целью данных исследований.

Для достижения поставленной цели была создана лабораторная установка, которая состояла из прибора, измеряющего температуру в нескольких точках, аналитических весов и инфракрасного излучателя, закрепленного на штативе. Контроль времени велся по секундомеру.

Исследование осуществляли на образцах, изготовленных из древесины сосны, лиственницы и дуба. В качестве основных лакокрасочных материалов были использованы белая и темно-коричневая краски фирмы Remmers.

По результатам исследования была построена таблица и сделаны соответствующие выводы.

**Ключевые слова:** терморadiационное отверждение, излучатель, лакокрасочный материал, время высыхания, степень высыхания.

**S. A. Prokhorchik, A. S. Chuykov**

Belarusian State Technological University

**INTENSIFICATION OF CURING WATER-DISPERSED  
PAINT-ORIENTED MATERIALS ON WOOD BY THERMORADIATION METHOD**

Thermoradiation curing is a promising direction in the drying of paint and varnish coatings. The essence of this method is to transfer a large amount of thermal energy to wood, which is applied a layer of paint and varnish material. Due to this the drying process lasts more intensively, which was confirmed by earlier studies.

The authors noted that the main difficulty was related to the solution of the task of determining the curing time of the paint coating to the third degree of drying. When establishing this indicator, the standard method is not suitable, since the preparation of the samples must be carried out on glass plates, and not on wood. In this regard, there was a need to develop a methodology for determining the drying time of paint coatings created on wood. That was the purpose of these studies.

To achieve this goal, a laboratory installation was created, which consisted of a device measuring the temperature at several points, analytical scales and an infrared radiator fixed to a tripod. Time control was carried out by stopwatch.

The study was carried out on samples made of pine, larch and oak wood. As the main paint and varnish materials were used white and dark brown paint produced by Remmers.

Based on the results of the study, a table was constructed and corresponding conclusions were drawn.

**Key words:** thermoradiative curing, radiator, paint material, drying time, the degree of drying.

**Введение.** Конвективный нагрев нашел широкое применение благодаря его универсальности (пригоден для ускорения процесса отверждения любых лакокрасочных материалов, нанесенных на изделия любой формы), мягкости и равномерности нагрева, простоте конструкции и легкости эксплуатации сушильных камер [1].

Однако этот метод наименее эффективен и энергоемок по многим причинам.

При отделке столярно-строительных изделий (ССИ) из древесины можно выделить некоторые недостатки отверждения водно-дисперсионных (ВД) акриловых материалов конвективным способом. При контакте нагретого воздуха с поверхностью изделия в первую очередь будет высыхать поверхностный слой лакокрасочного материала (ЛКМ), что будет препятствовать выходу растворителей и разбавителей.

При этом на поверхности детали будут образовываться такие дефекты, как пузырьки и кратеры [2].

Другим серьезным недостатком является время высыхания лакокрасочного покрытия (ЛКП). На данный момент для водно-дисперсионных материалов оно составляет порядка 90 мин до третьей степени высыхания [3]. При этом температура воздуха в камере не должна превышать 30–40°C ввиду того, что повышение температуры повлечет быстрое отверждение поверхностного слоя ЛКП и появление вышеописанных дефектов.

При отверждении покрытий, созданных на хвойных породах древесины, повышение температуры в камере свыше 50°C может вызвать плавление смолы и ее пробитие сквозь лакокрасочное покрытие [4].

В последнее время использование современного оборудования позволило раскрыть потенциал ранее известных методов сушки. Одной из таких технологий является инфракрасная (ИК) или терморрадиационная сушка.

Суть данного метода заключается в передаче большого количества тепловой энергии древесине, на которую нанесен слой лакокрасочного материала. За счет этого процесс высыхания длится интенсивнее [5].

Энергию генерируют специальные излучатели. Ранее применяли трубчатые электронагреватели, которые имели ряд недостатков, что существенно ограничивало их применение. Недостаток заключался в том, что рабочая температура стенок трубок, нагреваемых за счет теплопроводности, всегда значительно ниже температуры спирали, что снижает КПД данных излучателей.

Более совершенны в этом отношении излучатели, в которых накаливаемая спираль помещена в трубку из кварцевого стекла с высокой проницаемостью для инфракрасного излучения. Поэтому в качестве источника инфракрасного излучения выступала галогеновая ИК-лампа мощностью 1000 Вт с отражателем из полированного алюминия [6].

Проведенные ранее исследования [7] показали, что использование терморрадиационной

сушки значительно сокращает время отверждения лакокрасочных покрытий, созданных на стеклянных пластинах.

Для определения эффективности ИК сушки ЛКМ, нанесенных на поверхности ССИ из древесины, стандартная методика, описанная в ГОСТ 19007 [8], не подходит по ряду причин. Поэтому основной целью исследования послужило создание альтернативной методики определения времени высыхания водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на древесных поверхностях.

**Основная часть.** Для решения поставленной цели предварительно необходимо определить ряд факторов, по которым можно судить о степени отверждения покрытия. В качестве таких величин было принято использовать контроль массы образца, а также контроль температуры на и под поверхностью лакокрасочного покрытия.

Анализ литературных источников [9, 10] показал отсутствие данных по температуре на границе «покрытие – древесина», поэтому с научной точки зрения определение данного параметра в каждый момент времени является важной задачей, поскольку на хвойных породах древесины при перегреве поверхности начинает выступать смола.

Для этих целей использовался специальный прибор, состоящий из управляющей платы, дисплея, на котором отображались результаты определения температуры, восьми датчиков и кабеля питания на 220 В. Схематический вид прибора приведен на рис. 1.

Принцип его работы заключается в том, что каждую секунду прибор опрашивает датчик, цифровой сигнал преобразуется управляющей платой в температуру и результат операции отображается на дисплее.

Для проведения испытаний заранее были подготовлены образцы из древесины дуба, сосны и лиственницы размером 80×100×20 мм, в которых предварительно были высверлены отверстия, а поверхности поочередно обработаны шлифовальными шкурками Р100 и Р150 (№ 12 и 8 соответственно, согласно ГОСТ 3647 [11]).

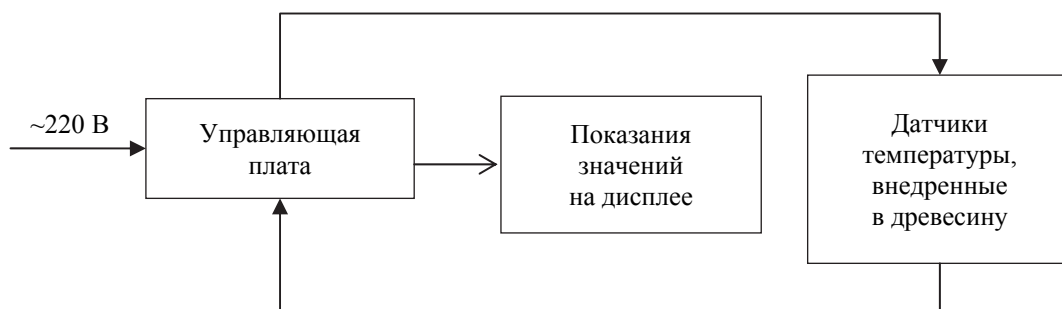


Рис. 1. Блок-схема прибора, контролирующего температуру

Датчики помещали в отверстия, как показано на рис. 2, таким образом, чтобы сам элемент не выступал на поверхность древесины. Пространство с обратной стороны отверстия заполняли термопастой для снижения искажения показаний.

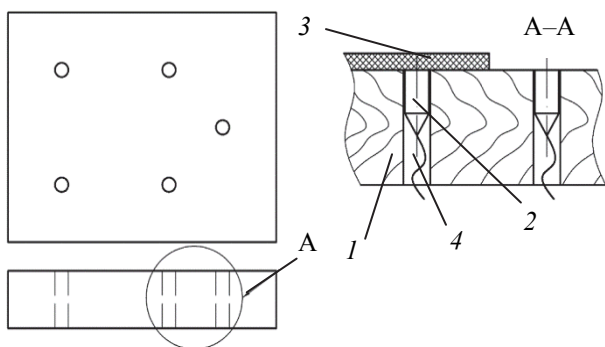


Рис. 2. Общий вид образца:  
1 – древесина; 2 – датчик; 3 – лакокрасочное покрытие; 4 – термопаста

Для регистрации изменения массы использовали аналитические лабораторные весы с точностью измерения до 0,01 г.

В качестве источника инфракрасного излучения выступал галогеновый излучатель.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 3.

Для создания защитно-декоративных покрытий были использованы наиболее применяемые ЛКМ на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь: водно-дисперсионная коричневая краска Remmers Induline DW 601/50 (RAL 8017) и белая (Basis A matt).

Для достижения однородности данного эксперимента сырой слой в 200 и 300 мкм наносили при помощи аппликатора [12].

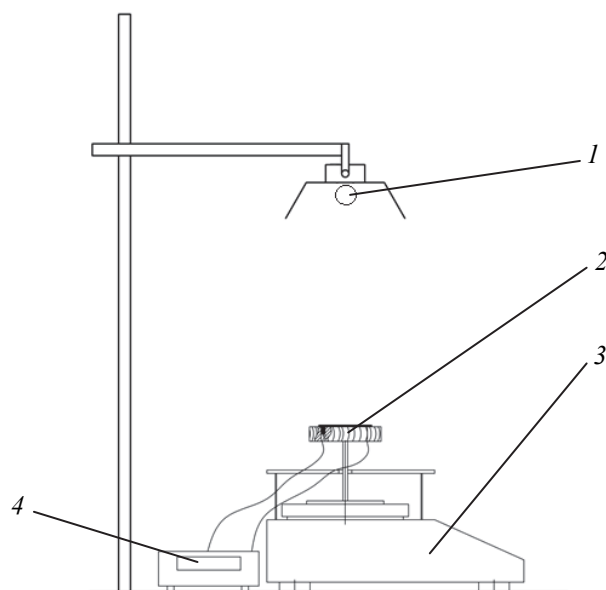


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки:  
1 – галогеновый инфракрасный излучатель;  
2 – образец из древесины; 3 – аналитические весы;  
4 – прибор для контроля температуры

На первом этапе исследования сразу после нанесения лакокрасочного материала образец помещали на весы и одновременно делали отсечку времени по секундомеру.

Все параметры фиксировали в протокол испытаний каждую минуту. По полученным результатам были построены графики сушки для каждого образца (рис. 4).

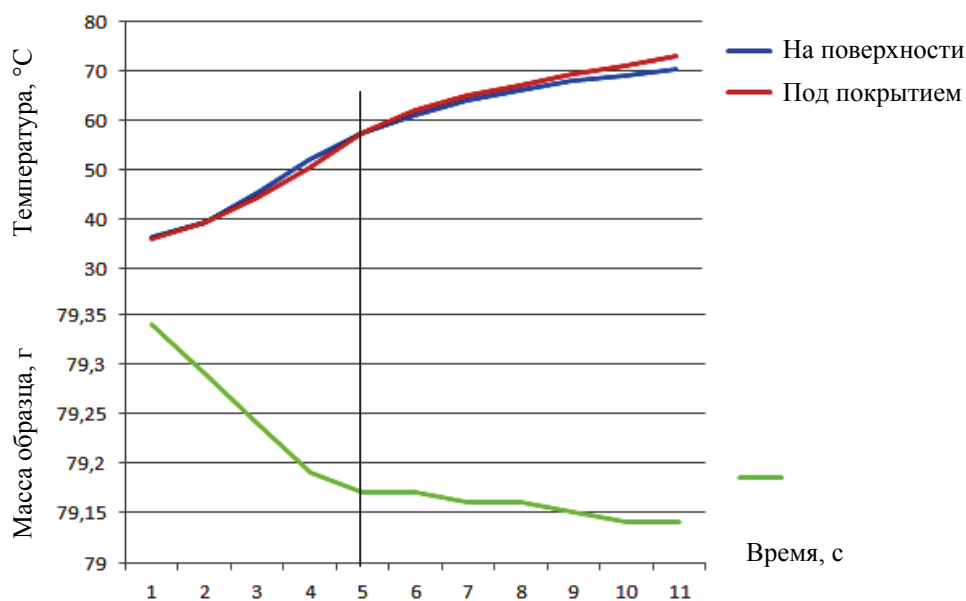


Рис. 4. График сушки древесины и роста температуры на поверхности образца и под лакокрасочным покрытием

При анализе графиков было замечено, что на пятой минуте температура датчиков на поверхности древесных образцов и на покрытии уравнилась. При этом масса в начальный момент времени резко снижалась, а после пятой минуты стала убывать с постоянной по времени величиной.

Полученный результат можно объяснить следующим образом. При анализе графика изменения массы видно, что процесс сушки включает в себя собственно отверждение лакокрасочного покрытия (испарение воды) и сушку древесины. Поэтому при нанесении лакокрасочного материала на древесину потеря массы через каждую минуту будет состоять из изменения массы самого ЛКП ( $\Delta M_{\text{лкп}}$ ) и потери массы по удалению связанной влаги ( $\Delta M_{\text{св}}$ ):

$$M = \Delta M_{\text{лкп}} + \Delta M_{\text{св}}$$

Из рис. 4 видно, что через определенное время (в данном случае 5 мин) изменение массы ЛКМ стремится к нулю, а изменение массы древесины каждую минуту уменьшается на постоянную величину, т. е.

$$\Delta M_{\text{лкп}} \rightarrow 0;$$

$$\Delta M_{\text{св}} = \text{const.}$$

Следовательно,

$$\Delta M_{\text{итог}} = \Delta M_{\text{св}}$$

Согласно графику изменения температуры на поверхности древесных образцов и на покрытии видно, что в начальный момент времени температура датчиков одинакова. После включения излучателя температура на покрытии растет быстрее, чем на древесине. Однако

по мере высыхания ЛКП толщина жидкого слоя уменьшается, переходя сначала в гелеобразное, а затем в твердое состояние. В результате температура датчиков постепенно выравнивается и в момент пересечения температурных кривых можно считать, что покрытие перешло в твердое агрегатное состояние, т. е. достигнуто высыхание ЛКП.

Второй этап исследований был посвящен определению влияния следующих факторов на время высыхания лакокрасочного покрытия: расстояние между источником излучения и образцом, порода древесины, толщина наносимого слоя. Результат испытаний представлен в табл. 1.

Оценивая полученные результаты, видно, что ЛКМ, в состав которых входят пигменты темного цвета, высыхают быстрее, чем те, которые содержат более светлые. Из области физики известно [13], что все физические тела подразделяются на абсолютно черные и серые. Первые поглощают больший спектр падающего электромагнитного излучения, чем вторые. Также стоит учитывать природу пигментов. Одни частицы будут лучше поглощать излучение, а другие хуже. Исходя из этого, процесс отверждения покрытий, содержащих темные пигменты, проходит быстрее.

Проведенные исследования показали зависимость времени высыхания от того, на какой древесной поверхности создано покрытие.

Темные и светлые ЛКМ, созданные на хвойных породах (сосна и лиственница), в целом высыхают на 1–2 мин медленнее, чем лиственные породы (дуб). Можно предположить, что это, как и в описанном выше случае, связано с цветом древесины.

#### Результаты испытаний по определению времени сушки

Время высыхания, мин						
Положение излучателя, мм	300		500		1000	
Толщина сырого слоя, мкм	200	300	200 мкм	300	200	300
Remmers Induline DW 601/50 RAL 8017 (Коричневая)						
Сосна	6 ± 0,2	8 ± 0,2	7 ± 0,2	10 ± 0,2	19 ± 0,2	25 ± 0,2
Лиственница	5 ± 0,2	6,5 ± 0,2	5,5 ± 0,2	9,5 ± 0,2	18,5 ± 0,2	24 ± 0,2
Дуб	7 ± 0,2	9 ± 0,2	8 ± 0,2	9 ± 0,2	15 ± 0,2	17 ± 0,2
Качество ЛКП	Плохое		Удовлетворительное		Хорошее	
Remmers Induline DW 601/50 Basis A matt (Белая краска)						
Сосна	9 ± 0,2	12 ± 0,2	10 ± 0,2	14 ± 0,2	21 ± 0,2	25 ± 0,2
Лиственница	10 ± 0,2	12 ± 0,2	9 ± 0,2	15 ± 0,2	20 ± 0,2	25 ± 0,2
Дуб	8 ± 0,2	10 ± 0,2	10 ± 0,2	13 ± 0,2	19 ± 0,2	24 ± 0,2
Качество ЛКП	Плохое		Удовлетворительное		Хорошее	

Увеличение расстояния между излучателем и образцом влечет за собой рост времени высыхания лакокрасочного покрытия. Например, при изменении положения излучателя с 300 до 500 мм время отверждения будет изменяться на 2–3 мин. Однако при увеличении расстояния с 500 до 1000 мм время высыхания возрастает вдвое. Это происходит из-за того, что энергия, которую переносят электромагнитные волны, с течением времени распределяется по все большей и большей поверхности [14]. Поэтому энергия, передаваемая через поверхность единичной площадки за единицу времени, т. е. плотность потока излучения, уменьшается по мере удаления от источника. Плотность потока излучения от точечного источника убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до источника.

Зафиксировать данный процесс можно при помощи контроля температуры поверхности образца по истечению определенного промежутка времени.

Эксперимент показал, что через 10 мин температура на поверхности образца достигла отметки 55°C при расстоянии до источника излучения 300 мм.

Увеличение этого расстояния до 500 мм привело к понижению показаний датчиков до 42,5°C. При установке излучателя на высоте 1000 мм над поверхностью образца температура составила 31,5°C, т. е. видно, что увеличение дистанции между излучателем и образцом ведет к снижению температуры на поверхности древесины.

Несмотря на высокую скорость отверждения покрытия, одним из основных показателей будет являться качество поверхности.

При терморационном отверждении на поверхности лакокрасочного покрытия могут появляться такие дефекты сушки [15], как «проколы», «пузыри», «кратеры» и т. д.

Известно, что при инфракрасном отверждении волновое излучение проходит через сырой слой ЛКМ и интенсивно нагревает поверхностный слой древесины. Тепловая энергия передается ЛКП, из которого начинает стремительно испаряться разбавитель. Пузырьки воздуха начинают выходить на поверхность, однако из-за слишком высокого теплового воздействия покрытие не успевает разлиться и отверждается. В том случае, когда пузырек вышел на поверх-

ность, образуется «кратер» или «прокол». Если воздух не успел выйти на поверхность и покрытие затвердело, то в этом случае образуется «пузырек».

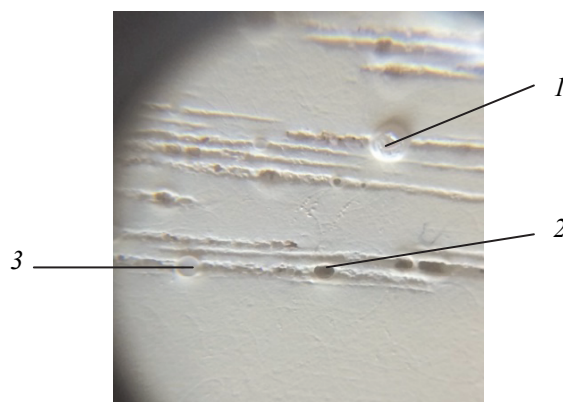


Рис. 5. Дефекты сушки покрытия:  
1 – пузырек; 2 – прокол; 3 – кратер

Исключить появление вышеописанных дефектов можно при помощи предварительной выдержки после нанесения ЛКМ на поверхность древесины.

**Заключение.** Для установления режимов отверждения ВД ЛКМ на поверхностях столярно-строительных изделий из древесины была разработана методика оценки времени высыхания. Из результатов эксперимента, отраженных в таблице, видно, что при использовании галогенового ИК излучателя покрытие в среднем отверждается от 5 до 25 мин, в зависимости от толщины нанесенного слоя ( $S = 200\text{--}300$  мкм), положения излучателя над образцом ( $H = 300\text{--}1000$  мм) и цвета ЛКМ (белый и темно-коричневый). На основании полученных данных можно сказать, что продолжительность отверждения водно-дисперсионных ЛКМ на древесине методом ИК сушки проходит в среднем в 3,6 раза быстрее, чем при конвективном отверждении, что подтверждает высокую эффективность применения ИК нагрева для ускорения процесса отверждения ВД-ЛКМ.

Дальнейшая работа по данному направлению будет связана с оценкой времени высыхания второго слоя лакокрасочного материала, а результаты экспериментов послужат основанием для установления режимов сушки водно-дисперсионных покрытий столярно-строительных изделий из древесины.

### Литература

1. Зигельбойм С. М., Петров П. В. Отделочные и монтажные работы в производстве мебели. М.: Лесная пром-сть, 1989. 211 с.
2. Прохорчик С. А. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов: учеб. пособие. Минск: БГТУ, 2014. 297 с.
3. Краска BRAVA ACRYL 35у для окон и дверей. Техническая информация. Держинск: ЧУП «МАВ», 2017. 2 с.

4. Сумароков В. П. Химия и технология переработки древесных смол. М.: Гослесбумиздат, 1953. 238 с.
5. Рабинович Г. Д., Слободкин Л. С. Терморadiационная и конвективная сушка лакокрасочных покрытий. Минск: Наука и техника, 1966. 180 с.
6. OSRAM. Специальные ультрафиолетовые и инфракрасные лампы и системы / OSRAM. М.: OSRAM GmbH, 2008. 61 с.
7. Прохорчик С. А., Чуйков А. С. Влияние терморadiационного воздействия на время отверждения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 183–186.
8. Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания: ГОСТ 19007-73. М.: Госстандарт, 1974. 6 с.
9. Малинкович Е. А., Чугунова М. В., Шноль Р. Б. Терморadiационный способ сушки лакокрасочных покрытий на древесине. М.: ЦБТИ бумажной и деревооб. пром-сти, 1960. 21 с.
10. Черняков Э. А. Интенсификация отделки древесины. М.: Лесная пром-сть, 1978. 123 с.
11. Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля: ГОСТ 3647-80. М.: ИПК Изд-во стандартов, 1982. 19 с.
12. Материалы лакокрасочные. Методы получения лакокрасочного покрытия для испытания: ГОСТ 8832-76. Введ. 01.01.77. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1976. 14 с.
13. Сивухин Д. В. Оптика. Общий курс физики. 3-е изд., стереотип. М.: Физматлит, 2005. 792 с.
14. Бальва О. П. ЕГЭ. Физика: универсальный справочник. М.: Эксмо, 2016. 336 с.
15. Мебель. Покрытия защитно-декоративные. Технические требования и методы контроля: СТБ 1871-2008. Введ. 01.08.2008. Минск: НП РУП БелГИСС, 2008. 18 с.

#### References

1. Zige'lboym S. M., Petrov P. V. *Otdelochnyye i montazhnyye raboty v proizvodstve mebeli* [Finishing and installation work in furniture production]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1989. 211 p.
2. Prokhorchik S. A. *Tekhnologiya zashchitno-decorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Minsk, BGТУ Publ., 2014. 297 p.
3. *Kraska BRAVA ACRYL 35 y dlya okon i dverey. Tekhnicheskaya informatsiya* [Paint BRAVA ACRYL 35u for windows and doors. Technical information]. Derzinsk, "MAV" Publ., 2017. 2 p.
4. Sumarokov V. P. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki drevesnykh smol* [Chemistry and technology of processing of wood resins]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1953. 238 p.
5. Rabinovich G. D., Slobodkin L. S. *Termoradiatsionnaya i konvektivnaya sushka lakokrasochnykh pokrytiy* [Thermoradiation and convective drying of paint and varnish coatings]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1966. 180 p.
6. OSRAM. Special ultraviolet and infrared lamps and systems. Moscow, OSRAM GmbH Publ., 2008. 61 p.
7. Prokhorchik S. A., Chuykov A. S. Influence of the thermoradiation effect on the curing time of water-dispersion paintwork materials. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 183–186 (In Russian).
8. GOST 19007-73. Paintwork materials. Method for determination of drying time and degree. Moscow, Gosstandart SSSR Publ., 1974. 6 p.
9. Malinkovich E. A. *Termoradiatsionnyy sposob sushki lakokrasochnykh pokrytiy na drevesine* [Theroradiation method for drying wood varnish-and-lacquer coatings]. Moscow, TBTI bumaznoy i derevoob. prom-sti Publ., 1960. 21 p.
10. Chernyakov E. A. *Intensifikatsiya otdelki drevesiny* [Intensification of wood finishing]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1978. 123 p.
11. GOST 3647-80. Abrasives. Grain sizing. Graininess and fractions. Test methods. Moscow, ИПК: Izda-vo standartov Publ., 1982. 19 p.
12. GOST 8832-76. Paintwork materials. Methods for formation of paint coating for testing. Moscow, Gosstandart SSSR: Izd-vo standartov Publ., 1976. 14 p.
13. Sivukhin D. V. *Optika. Obshchiy kurs fiziki* [Optics. General course of physics]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2005. 792 p.
14. Balva O. P. *EGE. Fizika: universal'nyy spravochnik* [EGE. Physics: a universal reference book]. Moscow, Eksmo Publ., 2016. 336 p.
15. STB 1871-2008. Furniture. Protective and decorative coatings. The technical requirements and methods of control. Minsk, NP RUP BelGISS Publ., 2008. 18 p.

### Информация об авторах

**Прохорчик Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

**Чуйков Алексей Сергеевич** – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru

### Information about the authors

**Prokhorchik Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

**Chuykov Aleksey Sergeevich** – Master of Engineering, assistant lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru

*Поступила 21.04.2017*