

### 3. ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЕРЕВОПЕРЕРАБОТКИ

---

УДК 674.07

О.А. Белова, А.Н. Чубинский

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОТВЕРЖДЕНИЯ УКРЫВИСТЫХ ГРУНТОВ НА ПОЛИУРЕТАНОВОЙ ОСНОВЕ

*Введение.* В последние десятилетия использование древесноволокнистых плит средней плотности (МДФ) в производстве мебельных фасадов и стеновых панелей получило широкое распространение. МДФ характеризуются меньшей по сравнению с древесностружечными плитами эмиссией формальдегида, стабильностью формы, возможностью формировать на их поверхности рисунок. У производителей главным образом ценится их простота в обработке [Коваленко, Белова, 2021].

Из-за особенностей структуры МДФ для обеспечения качественного покрытия технологическая система отделки (лакокрасочный материал и технология его применения) предполагает использование лакокрасочных материалов (ЛКМ) с высоким сухим остатком, значительной наполненностью и высокой укрывистостью. Технические условия эксплуатации изделий из МДФ диктуют требования к высокой прочности, а также механической и химической устойчивости покрытия. ЛКМ на основе полиуретана позволяют создать требуемую систему отделки МДФ для мелких и средних производств [Буглай, 1973; Леонович, 1998; Белова, 2021; Чубинский и др., 2022; Williams, 2012].

Как правило, система отделки МДФ включает: слой изолирующего покрытия для стабилизации структуры волокон, особенно в зонах обработки фрезерованием; два слоя укрывистого высоконаполненного грунта для заполнения пор и выравнивания поверхности; финишный слой эмали. Для обеспечения требуемого качества покрытия используется значительный объем высоконаполненного грунтовочного материала. Стремясь сократить этап отверждения и уменьшить количество операций, производители часто

увеличивают расход грунта и повышают температурные режимы сушки. Однако превышение этих параметров может привести к дефектам, таким как кратеры, растрескивание и снижение адгезии, а также к снижению эффективности производственного процесса и увеличению затрат на электроэнергию и материалы.

*Целью исследования* является оптимизация производственных процессов и улучшение качества конечных покрытий.

Для достижения этой цели были исследованы параметры процесса, такие как температура отверждения и расход лакокрасочного материала. В ходе исследования проведены эксперименты для определения оптимальных условий сушки, а также разработана математическая модель, позволяющая прогнозировать время отверждения на основе ключевых параметров процесса.

В отделке МДФ активно используются двухкомпонентные (2К) полиуретановые (ПУ) продукты. Для получения таких ЛКМ применяются смеси гидроксилсодержащих алкидных или полиэфирных смол и полиизоцианатов. Содержание нелетучих веществ в этих смолах варьируется в пределах 50–75%. Долговечность полиуретановых покрытий обусловлена уникальной способностью изоцианатных (NCO) и гидроксильных (ОН) групп формировать прочные трехмерные структуры [Шампетье, Рабатэ, 1960; Сорокин и др., 1989; Мушкарова, Белова, 2023]. Для наполнения в состав полиуретанового связующего включают разнообразные добавки, в том числе органические наполнители и природные минералы, однако наиболее широко используемым пигментированным наполнителем на сегодняшний день является диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) (E171). Диоксид титана ( $\text{TiO}_2$ ) — бесцветное твёрдое кристаллическое вещество. Несмотря на отсутствие цвета, в значительных количествах он служит чрезвычайно эффективным белым пигментом при условии высокой степени очистки. Является полиморфным соединением и встречается в трех основных кристаллических формах: анатаз (октаэдрит), рутил и брукит.  $\text{TiO}_2$  практически не поглощает свет в видимой части спектра и обладает высокой рефрактивной способностью, что позволяет ему эффективно покрывать поверхности, скрывая подложку. Способность диоксида титана отражать свет в видимой части спектра зависит от диаметра его частиц. При размере частиц 0,2 мкм достигается максимальная суммарная рассеянность света для всех видимых длин волн [Костин, 2015].

Процесс отверждения лакокрасочных покрытий на поверхностях МДФ может происходить как при естественных условиях, так и в специально со-

зданных искусственных обстоятельствах. В настоящее время существуют различные способы ускорения или интенсификации сушки (отверждения) ЛКП на древесине: конвективный, инфракрасный, с применением ультрафиолетовых лучей, микроволновый, аэроионизационный и др. Все способы работают при сообщении отверждаемому покрытию дополнительной энергии [Онегин, 1983; Газеев, Исаков, 2014; Газеев, 2016; Газеев, Исаков, 2016]. Конвективные установки с обогревом покрытия горячим воздухом имеют широкое распространение на мебельных производствах. Этот метод предпочтителен благодаря своей простоте в эксплуатации и настройке, а также возможности достаточно равномерно передавать тепло на поверхность изделий [Цой, 2002; Рыбин, 2007]. «При подводе тепла конвекцией осуществляется нагрев системы лакокрасочный материал — подложка. Длительность передачи тепла от поверхности лакокрасочного материала к нижней его границе зависит от теплопроводности и толщины покрытия» [Жуков, Онегин, 1993].

Процесс отверждения двухкомпонентных полиуретановых ЛКМ является ключевым этапом в формировании прочного и долговечного покрытия. Эти материалы состоят из двух основных компонентов – гидроксилсодержащей смолы (основа) и изоцианата (отвердитель), которые смешиваются непосредственно перед нанесением. Дополнительным компонентом состава является растворитель, который также регулирует реологические свойства продукта, такие как вязкость, плотность, растекаемость и т. д. При отверждении протекает ряд химических реакций, однако при эквивалентных соотношениях групп NCO и OH реакция уретанообразования является преобладающей. На скорость образования трёхмерной сетки полимера, а значит и на процесс отверждения в целом, существенно влияют такие параметры олигомеров, как молекулярная масса (ММ), функциональность, разветвлённость и температура стеклования [Сорокин, 1989; Кофтюк и др., 2012]. Температура оказывает значительное влияние на процесс отверждения. При повышении температуры возрастает кинетическая энергия молекул, что ускоряет их движение и способствует более быстрой полимеризации. Температура также способствует ускоренному испарению растворителя из ЛКМ [Жуков, Онегин, 1993].

Задача любого производства — повышение эффективности рабочих процессов, при этом сокращение времени отверждения ЛКМ без ущерба для качества покрытия является одной из ключевых задач. Контролируемые на производстве параметры, такие как температура и расход материа-

лов, оказывают существенное влияние на процесс отверждения и могут быть оптимизированы для достижения этой цели.

В рамках данной работы проведено исследование зависимости скорости отверждения полиуретановых укрывистых грунтов высокого наполнения от толщины наносимого слоя (расхода) ЛКМ и температуры отверждения. Полученные данные позволят разработать рекомендации по оптимальному расходу ЛКМ и параметрам процесса отверждения, в конечном итоге – созданию отечественных защитно-декоративных систем.

*Материалы и методика исследования.* Исследования проводили в соответствии с ГОСТ 19007-2023 «Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степени высыхания.» (ISO 9117-5:2012, NEQ). Методическая сетка эксперимента приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Методическая сетка эксперимента**

**Methodological Framework of the Experiment**

Задачи исследования	Постоянные факторы		Переменные факторы		Выходной параметр	Количество результатов измерений			
	Наименование	Значение	Наименование	Значение		Кол-во опытов	Кол-во результатов одного опыта	Кол-во наблюдений	Общее кол-во наблюдений
Исследование зависимости скорости отверждения полиуретановых укрывистых грунтов от толщины наносимого слоя (расхода), ЛКМ и температуры	Подложка Вязкость, с, по ВЗ-246	МДФ  20	Температура, °С	20 40 60	Выходной параметр №1 Степень высыхания №1 ГОСТ 19007-2023, мин	3	13	4	156
			Толщина наносимого слоя (расхода), <sup>2</sup> мкм на м <sup>2</sup>	100 150 200					
	Вид нанесения	Распыление	Условные обозначения образца	1 2 3 4					

*Примечание:* Условные обозначения образца: 1 – ПУ грунт Akzo Nobel 111.58 (Италия); 2 – ПУ грунт Helios TT (Россия); 3 – ПУ грунт Aromatik PA-1552 (Турция); 4 – ПУ грунт Techno color PPS40 (Россия).

*Результаты исследования.* Полученные данные представлены в виде графической зависимости продолжительности отверждения от температуры при разной толщине слоя на рис. 1–4.

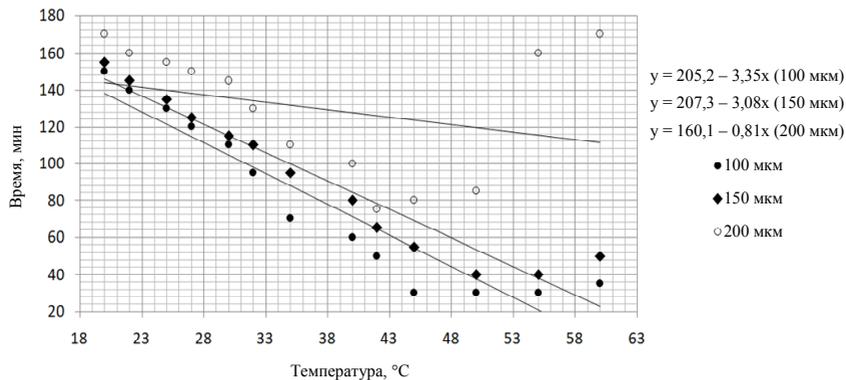


Рис. 1. Зависимость продолжительности отверждения от температуры, грунт №1  
 Fig. 1. Dependence of the deviation rate on temperature, primer № 1

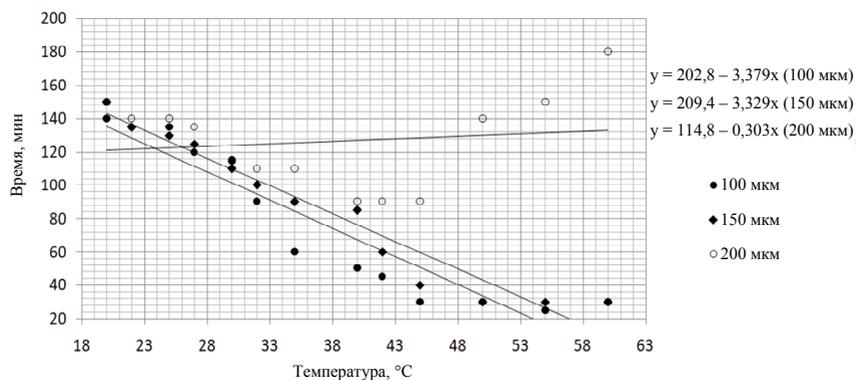


Рис. 2. Зависимость продолжительности отверждения от температуры, грунт №2  
 Fig. 2. Dependence of the deviation rate on temperature, primer № 2

Исследования подтверждают, что время высыхания полиуретановых покрытий существенно зависит от температуры и толщины слоя. При температурах свыше 50 °С происходит заметное увеличение времени отверждения, которое усиливается с ростом толщины слоя, демонстрируя зна-

чительный скачок этого параметра. Для тонких слоев время отверждения пленки прямо пропорционально их толщине и температуре. Однако для толстых покрытий это правило нарушается из-за образования поверхностной пленки, которая затрудняет выведение растворителя из нижних слоев к поверхности и приводит к дефициту кислорода и водорода, необходимых для процесса уретановой полимеризации [Жуков, Онегин, 1993]. Важно отметить, что проведенные испытания при температурах от 45 до 60 °С показали нестабильность процесса сушки для слоев толщиной 200 мкм и эти режимы не рекомендованы к эксплуатации.

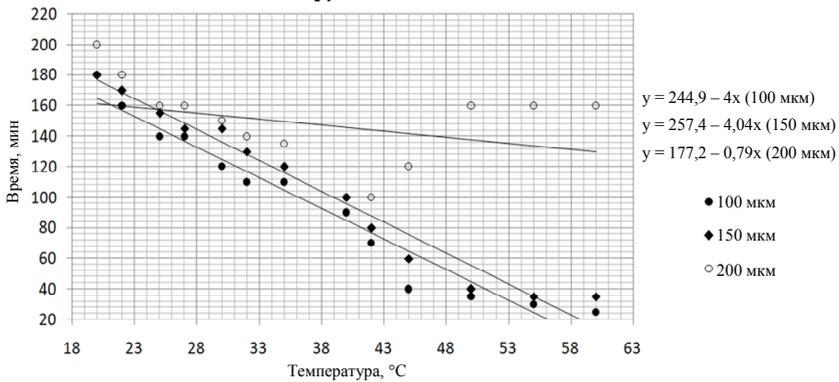


Рис. 3. Зависимость продолжительности отверждения от температуры, грунт №3  
 Fig. 3. Dependence of the deviation rate on temperature, primer № 3

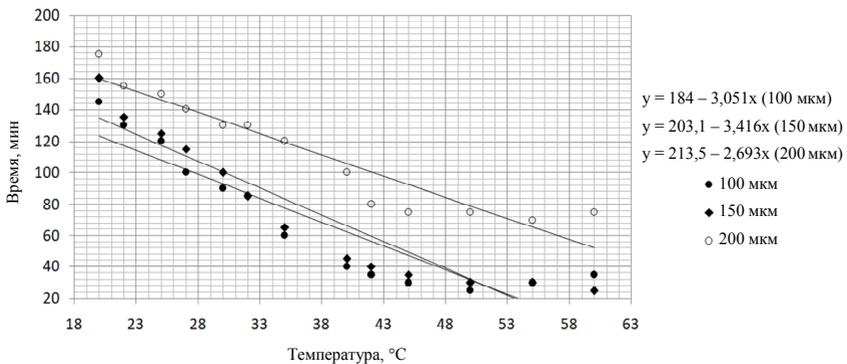


Рис. 4. Зависимость продолжительности отверждения от температуры, грунт № 4  
 Fig. 4. Dependence of the deviation rate on temperature, primer № 4

Математические модели процесса получены на основе результатов полного факторного эксперимента [Чубинский и др., 2018]

Уравнение регрессии для зависимости продолжительности отверждения от температуры и толщины слоя (табл. 2) представляет собой линейную модель, которая в общем виде выражается следующим образом:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2, \quad (1)$$

где  $y$  — продолжительность отверждения,  $\beta_0$  — свободный член,  $\beta_1$  — коэффициент при переменной  $x_1$  (температура),  $\beta_2$  — коэффициент при переменной  $x_2$  (толщина слоя),  $x_1$  — температура,  $x_2$  — толщина слоя.

Таблица 2

### Уравнения регрессии

#### Regression equations

Грунт	Уравнение
№1	$y=117,06-2,41x_1+0,49x_2$
№2	$y=102,48-2,14x_1+0,49x_2$
№3	$y=148,68-2,94x_1+0,52x_2$
№4	$y=136,92-3,05x_1+0,42x_2$

Уравнения линейной регрессии, разработанные для каждого типа грунта, демонстрируют зависимость времени высыхания от толщины слоя и температуры, позволяя количественно оценить влияние указанных факторов на процесс высыхания.

Целевая функция  $Z$ , которая представляет собой обобщенную модель для прогнозирования времени высыхания, выражается как среднее значений всех четырех грунтов:

$$Z = (1/4) * [(117,06 - 2,41x_1 + 0,49x_2) + (102,48 - 2,14x_1 + 0,49x_2) + (148,68 - 2,94x_1 + 0,52x_2) + (136,92 - 3,05x_1 + 0,42x_2)];$$

$$Z = 126,285 - 2,635x_1 + 0,48x_2. \quad (2)$$

Коэффициент детерминации ( $R^2$ ), указывающий на долю объясненной вариации в данных, для этих моделей находится в пределах от 56% до 85,5%, что свидетельствует о достаточной точности моделей для применения в практических целях.

Визуализация уравнения регрессии на трехмерном графике (рис. 5) наглядно демонстрирует влияние температуры и толщины слоя на время отверждения. Полученная модель может быть использована для оптимизации процессов сушки полиуретановых грунтов в различных условиях.

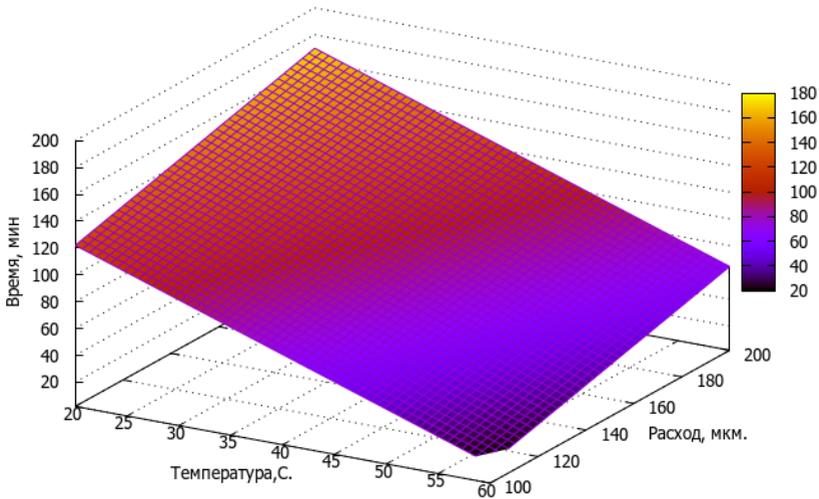


Рис. 5. Трехмерный график модели линейной зависимости продолжительности отверждения ЛКМ от расхода и температуры

Fig. 5. Three-dimensional graph of the model of linear dependence of paint drying coating on consumption and temperature

Для оптимизации продолжительности отверждения полиуретановых грунтов с учётом температурного режима и толщины наносимого слоя использован метод крутого восхождения. Результаты оптимизации приведены в табл. 3.

Начальные параметры:

- Температура ( $x_1$ ): 20 °С
- Толщина слоя ( $x_2$ ): 100; 125; 150 мкм.

Градиент целевой функции:  $\nabla Z = (-2,635; 0,48)$ .

Таблица 3

**Оптимизация методом крутого восхождения**

**Optimization by the method of steepest ascent**

Толщина слоя/расход ( $x_2$ ), мкм	Оптимальная температура ( $x_1$ ), °С	Минимальное время высыхания ( $Z$ ), мин
100	46,35	52,15
125	45,79	53,94
150	45,22	55,84

В результате был выявлен эффективный температурный диапазон отверждения в пределах 44–46 °С. Установленные параметры могут быть интегрированы в технологический процесс с целью оптимизации условий сушки и обеспечения высокого качества покрытия, минимизируя риск дефектов. При этом требуется строгий контроль температурного режима и расхода материала (толщины слоя) для поддержания эффективности процесса. Однако, учитывая, что использованная модель предполагает линейные зависимости, которые могут не полностью учитывать сложные взаимодействия в реальных производственных условиях, необходимо проведение дополнительных исследований для дальнейшего уточнения и адаптации модели.

*Заключение.* Разработанные математические модели линейной регрессии обеспечивают количественную оценку этих факторов и могут быть применены для оптимизации производства. Установлено, что при нанесении слоев свыше 200 мкм и температурах выше 50 °С процесс отверждения становится нестабильным, что требует дальнейших исследований для уточнения моделей. Соблюдение рекомендуемых температурных режимов и расхода способствует значительной экономии энергии за счет снижения потребности в избыточном нагреве и сокращения времени сушки. Это в свою очередь уменьшает эксплуатационные расходы и повышает общую энергоэффективность производственного процесса. Полученные результаты и разработанные модели могут быть использованы при проектировании новых производственных линий, обеспечивая точные расчеты параметров сушки и отверждения, что позволит оптимизировать процесс на этапе планирования и избежать избыточных затрат.

*Конфликт интересов.* Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

*Белова О.А.* Испытание полиуретановых защитно-декоративных покрытий // *Ландшафтная архитектура, строительство, дизайн и обработка древесины: матер. I Всерос. студенческой конференции-вебинара.* СПб.: СПбГЛТУ, ИЛАСиОД, 2021. С. 5–9.

*Буглай Б.М.* Технология отделки древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 303 с.

*Газеев М.В.* Исследование режимных параметров ускоренной сушки лакокрасочных покрытий на древесине // *Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность.* 2016. № 2 (184). С. 140–144.

*Газеев М.В., Исаков С.Н.* Моделирование деформаций при высыхании лакокрасочного материала на металлической пластине // *Леса России и хозяйство в них.* 2014. № 2 (49). С. 38–40.

Газеев М.В., Исаков С.Н. Моделирование электрического поля при аэроионизационной сушке лакокрасочных покрытий на древесине // Вестник технологического университета. 2016. Т.19. № 20. С. 46–49.

Жуков Е.В., Онегин В.И. Технология защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. СПб.: Экология, 1993. 302 с.

Коваленко И.В., Белова О.А. Свойства полиуретановых эмалей // Ландшафтная архитектура, строительство, дизайн и обработка древесины: матер. I Всерос. студенческой конференции-вебинара. СПб.: СПбГЛТУ, ИЛАСиОД, 2021. С. 10–14.

Костин А.С. Математическое моделирование и оптимизация процесса получения наночастиц диоксида титана золь-гель методом: дисс. ... канд. тех. наук. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2015. 169 с.

Кофтык В.А., Полякова М.Н., Листова О.В., Ямский В.А., Воробьева Л.Г. Формирование покрытий на основе полиуретановых ЛКМ. М.: ЛКМ-пресс, 2012. 13 с.

Леонович А.А. Физико-химические основы образования древесных плит. СПб.: ХИМИЗДАТ, 1998. 188 с.

Мушкарова О.М., Белова О.А. Алгоритм снижения стоимости отделки столярных изделий лакокрасочными материалами на полиуретановой основе // Ландшафтная архитектура, строительство и обработка древесины: материалы научно-технической конференции СПбГЛТУ по итогам НИР 2022 г. СПб.: СПбГЛТУ, 2023. С. 8–13.

Онегин В.И. Формирование лакокрасочных покрытий древесины. Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. 148 с.

Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитнодекоративных покрытий древесины и древесных материалов: учебник для студентов вузов. М.: МГУЛ, 2007. 568 с.

Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Химия и технология пленкообразующих веществ: учебник для вузов. М.: Химия, 1989. 480 с.

Цой Ю.И. Совершенствование технологии отделки изделий из древесины на основе воднодисперсионных лакокрасочных составов: дисс. ... д-ра техн. наук. СПб.: СПбГЛТА, 2002. 413 с.

Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Батырева И.М., Варанкина Г.С. Методы и средства научных исследований. Методы планирования и обработки результатов экспериментов. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 104 с.

Чубинский А.Н., Коваленко И.В., Белова О.А. Выбор лакокрасочных материалов методом расстановки приоритетов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: матер. VII Всерос. науч.-технич. конференции / под ред. А.А. Добровольского. СПб.: СПбГЛТУ, 2022. С. 55–58.

Шампетье Г., Рабатэ Г. Химия лаков, красок и пигментов. Т. 1. М.: ГХИ, 1960. 584 с.

Williams R.S. Finishing of Wood // Wood handbook – wood as an engineering material. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2012. P. 15–37.

## References

*Belova O.A.* Testing of polyurethane protective and decorative coatings. *Landscape architecture, construction, design and wood processing: materials of the I All-Russian student conference-webinar*. St. Petersburg: ILASIOD, SPbGLTU, 2021, pp. 5–9. (In Russ.)

*Buglay B.M.* Technology of wood finishing. M.: Lesn. prom-st, 1973. 303 p. (In Russ.)

*Chubinsky A.N., Rusakov D.S., Batyreva I.M., Varankina G.S.* Methods and tools of scientific research. Methods of planning and processing of experimental results. St. Petersburg: SPbGLTU, 2018. 104 p. (In Russ.)

*Chubinsky A.N., Kovalenko I.V., Belova O.A.* Selection of paint materials by priority ranking method. *Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the VII All-Russian scientific and technical conference*. Ed. by A.A. Dobrovolsky. St. Petersburg: SPbGLTU, 2022, pp. 55–58. (In Russ.)

*Champetier G., Rabate G.* Chemistry of varnishes, paints, and pigments. Vol. 1. M.: GKHI, 1960. 584 p. (In Russ.)

*Gazeev M.V.* Research of the accelerated drying mode parameters of paint coatings on wood. *Proceedings of BSTU. Forest and wood-processing industry*, 2016, no. 2(184), pp. 140–144. (In Russ.)

*Gazeev M.V., Isakov S.N.* Modeling of deformations during the drying of paint material on a metal plate. *Forests of Russia and management in them*, 2014, no. 2(49), pp. 38–40. (In Russ.)

*Gazeev M.V., Isakov S.N.* Modeling of the electric field during aeration drying of paint coatings on wood. *Bulletin of the Technological University*, 2016, vol. 19, no.20, pp. 46–49. (In Russ.)

*Koptyuk V.A., Polyakova M.N., Listova O.V., Yamskiy V.A., Vorobyeva L.G.* Formation of coatings based on polyurethane paint materials. M.: LKM-press, 2012. 13 p. (In Russ.)

*Kostin A.S.* Mathematical modeling and optimization of the process of obtaining titanium dioxide nanoparticles by the sol-gel method: diss. ... cand. of techn. sci. M.: RCTU named after D.I. Mendeleev, 2015. 169 p. (In Russ.)

*Kovalenko I.V., Belova O.A.* Properties of polyurethane enamels. *Landscape architecture, construction, design and wood processing: materials of the I All-Russian student conference-webinar*. St. Petersburg: ILASIOD, SPbGLTU, 2021, pp. 10–14. (In Russ.)

*Leonovich A.A.* Physicochemical foundations of the formation of wood-based panels. SPb.: KHIMIZDAT, 1998. 188 p. (In Russ.)

*Mushkarova O.M., Belova O.A.* Algorithm for reducing the cost of finishing joinery products with polyurethane-based paint materials. *Landscape architecture, construction and wood processing: materials of the scientific and technical conference*

of SPbGLTU based on the results of R&D in 2022. St. Petersburg: SPbGLTU, 2023, pp. 8–13. (In Russ.)

*Oegin V.I.* Formation of paint coatings for wood. L.: Publishing House of Leningrad University, 1983. 148 p. (In Russ.)

*Rybin B.M.* Technology and equipment for protective and decorative coatings of wood and wood materials: a textbook for university students. 3rd ed. M.: MGUL, 2007. 568 p. (In Russ.)

*Sorokin M.F., Kochnova Z.A., Shode L.G.* Chemistry and technology of film-forming substances: a textbook for universities. M.: Chemistry, 1989. 480 p. (In Russ.)

*Tsoy Yu.I.* Improvement of the technology of finishing wood products based on water-dispersion paint compositions: diss. ... d-ra of techn. sci. St. Petersburg: SPbGLTA, 2002. 413 p. (In Russ.)

*Williams R.S.* Finishing of Wood. *Wood handbook – wood as an engineering material*. Madison, WI: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2012, pp. 15–37.

*Zhukov E.V., Oegin V.I.* Technology of protective and decorative coatings for wood and wood materials. St. Petersburg: Ecology Publishing House, 1993. 302 p. (In Russ.)

*Материал поступил в редакцию 11.06.2024*

---

**Белова О.А., Чубинский А.Н.** Исследование процесса отверждения укрывистых грунтов на полиуретановой основе // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 251. С. 336–349. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.336-349

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) на полиуретановой основе широко используются для отделки древесноволокнистых плит средней плотности (МДФ), применяемых в производстве мебельных фасадов и стеновых панелей. Эти материалы характеризуются высокой прочностью, механической и химической устойчивостью. Процесс отверждения ЛКМ является ключевым этапом, определяющим качество конечного покрытия, и зависит от температуры и расхода. В работе проведено исследование процесса отверждения укрывистых полиуретановых грунтов с целью оптимизации условий производства. Экспериментальные исследования включали полный факторный эксперимент, позволивший установить зависимость продолжительности отверждения от ключевых параметров. Разработана математическая модель, позволяющая количественно оценить влияние температуры и расхода на время отверждения. Установлен оптимальный температурный диапазон для сушки полиуретановых грунтов, который минимизирует риск дефектов покрытия и обеспечивает высокое качество продукции. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации производственных процессов, что позволит снизить эксплуатационные расходы и повысить энергоэффективность. Статистическое

сравнение отечественных полиуретановых грунтов с зарубежными аналогами может существенно способствовать процессу импортозамещения, позволяя проводить сравнение и оценку эффективности. Разработка отечественных материалов с учетом полученных данных обеспечит более конкурентоспособное производство и независимость от импортных поставок.

**Ключевые слова:** лакокрасочные материалы (ЛКМ), полиуретановые грунты, МДФ (древесноволокнистые плиты), отверждение, расход, импортозамещение, оптимизация производственных процессов.

**Belova O.A., Chubinsky A.N.** Study of the Curing Process of Opaque Polyurethane-Based Primers. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2024, iss. 251, pp. 336–349 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.251.336-349

Polyurethane-based LKM are widely used for finishing medium-density fiberboards (MDF) employed in the production of furniture fronts and wall panels. These materials are characterized by high strength, as well as mechanical and chemical resistance. The curing process of these coatings is a critical stage that determines the quality of the final finish and is influenced by temperature and application rate. This study investigates the curing process of opaque polyurethane primers with the aim of optimizing production conditions. The experimental research included a full factorial experiment, which allowed for establishing the dependency of curing time on key parameters. A mathematical model was developed to quantitatively assess the influence of temperature and application rate on curing time. The optimal temperature range for drying polyurethane primers was determined, which minimizes the risk of coating defects and ensures high product quality. The results of the study can be used to optimize production processes, reducing operational costs and increasing energy efficiency. A statistical comparison of domestic polyurethane primers with foreign analogs may significantly contribute to the import substitution process, enabling the comparison and assessment of efficiency. The development of domestic materials based on the obtained data will ensure more competitive production and independence from imported supplies.

**Keywords:** coatings (LKM), polyurethane primers, MDF (medium-density fiberboard), curing, consumption, import substitution, optimization of production processes.

---

**БЕЛОВА Ольга Александровна** – аспирант кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: oblkm@mail.ru

**BELOVA Olga A.** – PhD student, St.Petersburg State Forest Technical University. 194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: oblkm@mail.ru

**ЧУБИНСКИЙ Анатолий Николаевич** – профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, доктор технических наук. Researcher ID: I-9432-2016. ORCID: 0000-0001-7914-8056.

194021, Институтский пер., д. 5, лит. У, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com

**CHUBINSKIY Anatoliy N.** – DSc (Technical), professor St. Petersburg State Forest Technical University. Researcher ID: I-9432-2016. ORCID: 0000-0001-7914-8056.

194021. Institute per. 5. Let. U. St. Petersburg. Russia. E-mail: a.n.chubinsky@gmail.com