

УДК 674.213.049.2:674.031

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА МОДИФИЦИРОВАНИЯ МАЛОЦЕННЫХ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Кошелева Н.А., Шейкман Д.В.

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, Россия (620100, Сибирский тракт, 37), e-mail: cheikman@yandex.ru

Проблема модифицирования древесины в последние годы приобрела большое значение в связи со значительным сокращением лесных ресурсов, потребностью более широкого использования малоценных лиственных пород древесины и необходимостью повышения долговечности изделий из древесины. Этой проблемой занимаются практически во всех промышленно развитых странах мира. Проведены исследования оптимизации процесса модифицирования и выбора постоянных и переменных факторов экспериментов с определением диапазона их варьирования, обеспечивающего наилучшие показатели эксперимента. Выбор факторов осуществлялся на основании априорных данных, полученных в результате предварительных экспериментов. Проведенные исследования и испытания опытных образцов показали их полное соответствие установленным требованиям к напольным покрытиям из древесины. В ходе многокритериальной оптимизации математических моделей под эталонный паркет были установлены оптимальные параметры и режимы модифицирования.

Ключевые слова: модифицирование древесины, лиственные породы, паркетные полы, физико-механические свойства древесины.

OPTIMIZATION OF PROCESS OF MODIFYING OF INVALUABLE DECIDUOUS BREEDS OF WOOD

Kosheleva N.A., Sheykman D.V.

FGBOU VPO "The Ural state timber university", Yekaterinburg, Russia (620100, Siberian path, 37), e-mail: cheikman@yandex.ru

The wood modifying problem got great value in connection with considerable reduction of forest resources, requirement of wider use of invaluable deciduous breeds of wood and need of increase of durability of products from wood in recent years. Deal with this problem practically in all industrialized countries of the world. Researches of optimization of process of modifying and a choice of constant and variable factors of experiments with determination of range of their variation providing the best indicators of experiment are conducted. The choice of factors was carried out on the basis of the aprioristic data obtained as a result of preliminary experiments. The conducted researches and tests of prototypes showed their full compliance to the established requirements to floor coverings from wood. During multicriteria optimization of mathematical models under a reference parquet optimum parameters and the modes of modifying were set.

Keywords: wood modifying, deciduous breeds, parquet floors, physicommechanical properties of wood.

Древесина остается одним из наиболее доступных, возобновляемых, экологичных и потому широко востребованных природных материалов. Благодаря своим ценным свойствам она в большом количестве используется в промышленности, строительстве, изготовлении мебели и столярно-строительных изделий. Однако ей присущи и определенные недостатки, которые часто ограничивают еще более широкое применение древесины.

Основной недостаток натуральной древесины, особенно мягко-лиственных пород, заключается в низких физико-механических и эксплуатационных характеристиках и нестабильности линейных размеров.

Поэтому улучшение физико-механических свойств мягко-лиственных пород древесины является одной из основных задач в современной мировой деревообрабатывающей промышленности.

Еще одной проблемой, решением которой в течение многих лет занимаются деревообработчики, является также необходимость улучшения декоративных свойств малоценных пород древесины, и расширение области их использования для производства мебели, столярно-строительных изделий, в частности, для покрытий пола в виде досок [4], щитов, штучного паркета и т.п.

Частично решить эту проблему может использование так называемой «модифицированной древесины».

Древесина представляет собой неоднородный анизотропный природный композит, состоящий из высокомолекулярных веществ, строение которого можно рассматривать на разных структурных уровнях.

Рассматривая строение древесины на макроструктурном уровне как композита, состоящего из материала клеточек стенок и пустых полостей определенной формы и ориентации, все способы модифицирования можно условно разделить на химические и физические. К первым относятся различные виды обработки древесины, в том числе химическими веществами, в определенных условиях изменяющими состав и свойства материала клеточных стенок древесины. Ко вторым – способы уменьшения относительного объемного содержания полостей клеток древесины, а также изменение взаимной ориентации различных групп клеток относительно друг друга, например, прессованием древесины или наполнением полостей древесины другими материалами [2]. Дополнительно древесина может подвергаться воздействию магнитных и электрических полей, ультразвука, проникающей радиации, энергии лазера, плазмы и т.д. [5].

Проведены исследования по изучению возможности использования древесины малоценных лиственных пород древесины, таких как береза и осина, после дополнительной обработки для изготовления паркета [3].

Целью проводимых исследований является оптимизация процесса модифицирования и выбор постоянных и переменных факторов экспериментов с определением диапазона их варьирования, обеспечивающего наилучшие показатели эксперимента. Выбор факторов осуществлялся на основании результатов предварительных экспериментов. Также по результатам предварительных исследований проверялась нормальность распределения выходных величин по критерию Пирсона.

Для изучения процесса модифицирования малоценных лиственных пород древесины (береза, осина) постановка экспериментов осуществлялась по плану Бокса В₃ для трех

независимых переменных. По результатам расчетов с учетом выбранных планов число повторений в каждом опыте было принято равным 3, что связано с тем, что на базе результатов этих опытов было необходимо набрать эмпирический ряд чисел для статических расчетов в заданном количестве, так как результаты одного опыта являются недостаточными для этих расчетов.

Регрессионный анализ как статический метод основывается на следующих положениях:

- параметр оптимизации y есть случайная величина с нормальным законом распределения;
- дисперсия y не зависит от абсолютной величины y ;
- значения факторов – суть неслучайной величины.

Проверка адекватности модели или проверка ее пригодности вычислялась с помощью остаточной дисперсии или дисперсии адекватности. Суть метода в том, что полученная регрессия входит в доверительный интервал разбросанных точек.

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y} - y)^2}{f},$$

где $f = N - (k+1)$ – число степеней свободы.

Для проверки гипотезы об адекватности модели можно использовать F-критерий.

$$F_{ад} = \frac{n S_{ад}^2}{S_{(y)}^2},$$

где n – количество параллельных опытов.

Проверка гипотезы сводится к сравнению расчетного коэффициента с табличным.

$$F_{ад}^{расч} \leq F_{ад}^{табл}$$

Для данного неравенства модель можно принять адекватной с соответствующей доверительной вероятностью.

Кроме адекватности модели важной составляющей служит оценка эффективности модели $F_{эф}^2$.

$$F_{эф}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y} - y)^2}{f S_{ад}^2},$$

где $f=N-1$ – степень свободы.

Для сравнения также используется критерий Фишера.

Модель принимается удовлетворительной, если расчетный коэффициент меньше табличного, в противном случае модель считается эффективной.

Уровень значимости для проводимого статического анализа задается равным 0,05.

Математические модели экспериментов находятся в виде полиномиальных уравнений регрессии второго порядка [1]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3$$

где $b_0; b_1; b_{11}$ – коэффициенты регрессии математической модели.

Коэффициенты регрессии рассчитывались по следующим формулам:

$$b_0 = -\frac{1}{16} \sum_{u=1}^8 y_u + \frac{1}{4} \sum_{u=9}^{14} y_u$$

$$b_i = \frac{1}{10} \sum_{u=1}^{14} x_{iu} y_u$$

$$b_{ii} = \frac{1}{16} \sum_{u=1}^8 y_u - \frac{1}{4} \sum_{u=9}^{14} y_u + \frac{1}{2} \sum_{u=9}^{14} x_{iu}^2 y_u$$

$$b_{ij} = \frac{1}{8} \sum_{u=1}^8 x_{iu} x_{ju} y_u$$

Переход от натуральных значений факторов к нормальным производился следующим образом:

$$x_i = \frac{X_i - X_i^{(0)}}{\Delta_i}$$

где x_i – нормализованное значение i -го фактора;

X_i – натуральное значение i -го фактора;

$X_i^{(0)}$ – натуральное значение i -го фактора на основном уровне;

Δ_i – шаг варьирования i -го фактора.

Получение математической модели эксперимента осуществлялось посредством регрессионного анализа в следующем порядке:

- отыскание параметров математической модели;
- статическая обработка экспериментальных данных.

На первом этапе анализа проводилась проверка однородности дисперсий опытов на расчет коэффициентов регрессии.

На втором этапе оценивалась значимость коэффициентов регрессии и проверялась адекватность математической модели. Проверка однородности дисперсии опыта проводилась по критерию Кохрена.

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2}$$

где S_{max}^2 – наибольшая из дисперсий опытов;

S_i^2 – дисперсия одного опыта;

N – количество поставленных опытов.

При выполнении соотношения $G_{\text{расч.}} < G_{\text{табл.}}$ принимается гипотеза об однородности дисперсий опытов:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N}.$$

Значимость коэффициентов регрессии проверялась посредством критерия Стьюдента из следующего выражения:

$$|b_i| \geq t_{\text{табл.}} S\{b_i\}$$

$$|b_{ij}| \geq t_{\text{табл.}} S\{b_{ij}\}$$

Дисперсия коэффициентов регрессии рассчитывалась следующим образом:

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{S_{\text{ад}}^2}{N}.$$

В ходе проведения экспериментов были получены выходные величины, обработка данных проводилась на ПЭВМ в электронных таблицах “Microsoft Excel”.

В ходе эксперимента ставились задачи по исследованию влияния температуры нагрева пропиточного состава, времени выдержки образцов после нанесения состава до прессования и величины упрессовки на формоустойчивость, статическую твердость и предел прочности при статическом изгибе получаемого материала.

Выбор натуральных значений управляющих факторов был произведен на основании предварительных экспериментов и с учетом теоретического анализа существующих методик. Переменные факторы при проведении эксперимента представлены в таблице 1, матрица планирования эксперимента – в таблице 2.

Конечный результат должен показывать оптимальные показатели температуры нагрева пропиточного состава, времени выдержки до прессования и величины упрессовки для получения максимальных формоустойчивости, статической твердости и предела прочности при статическом изгибе образцов из древесины березы и осины при модифицировании различными составами.

Таблица 1

Натуральные значения управляющих факторов и диапазоны их варьирования

Фактор	Уровни варьирования факторов			Шаг варьирования
	min x (-)	ср. x (0)	max x (+)	
X ₁ – температура нагрева пропиточного состава, °С	20± 2	40± 2	60±2	20
X ₂ - время	1	3,5	6	2,5

выдержки, ч				
X ₃ – величина упрессовки, мм	1	2	3	1

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃
1	1	1	1	1
2	1	-1	1	1
3	1	1	-1	1
4	1	-1	-1	1
5	1	1	1	-1
6	1	-1	1	-1
7	1	1	-1	-1
8	1	-1	-1	-1
9	1	1	0	0
10	1	-1	0	0
11	1	0	1	0
12	1	0	-1	0
13	1	0	0	1
14	1	0	0	-1

С учетом того, что в эксперименте используются малоценные породы древесины осина и береза, и при этом исследуется в сравнении два пропитывающих состава, то обозначение образцов состоит из двух цифр: первая показывает породу и применяемую пропитку, вторая цифра соответствует номеру опыта (таблица 3).

Таблица 3

Таблица соответствия номера образца породе и пропитке

Первая цифра	Порода	Пропитка
1	Осина	Состав «Древозащита ВАК-48Д»
2		Красящий состав на основе алкидных смол
3	Береза	Состав «Древозащита ВАК-48Д»
4		Красящий состав на основе алкидных смол

Технологический процесс эксперимента проводился в следующем порядке:

- составлялось расписание проведения эксперимента;
- готовились образцы для проведения эксперимента: шероховатость не более 64 мкм, влажность 10 ± 2 %;
- готовились пропитывающие составы;
- измерялась масса образцов до нанесения состава;
- наносился пропитывающий состав;
- измерялась масса образцов после нанесения пропитывающего состава;
- образцы выдерживались в течение определенного времени;
- рассчитывалась величина расхода пропитывающего состава;
- проводилось прессование и технологическая выдержка до полного отверждения покрытия;
- определялась формоустойчивость;
- определялась статическая твердость;
- определялся предел прочности при статическом изгибе.

Проведенные исследования и испытания опытных образцов показали их полное соответствие установленным требованиям к напольным покрытиям из древесины.

В ходе многокритериальной оптимизации математических моделей под эталонный паркет были установлены оптимальные параметры и режимы модифицирования, например, паркет из осины с выходными параметрами:

Статическая твердость 60 Н/мм².

Предел прочности при статическом изгибе 124 МПа.

Формоустойчивость 1,1 %.

Пропитка – состав древозащита ВАК-48Д Оливия tex.

Режим модифицирования: время выдержки до прессования 9,2 ч, пропитка при комнатной температуре, упрессовка 3,1 мм.

Список литературы

1. Власов К.П. Методы научных исследований и организации эксперимента. – Санкт-Петербург: РИЦ СПГГИ, 2000. – 116 с.
2. Кошелева Н.А., Шейкман Д.В. Улучшение свойств древесины лиственных пород с целью расширения области ее применения. Леса России и хозяйство в них: жур. Вып. 4 (47) / Урал. гос. лесотехн. ун-т. – Екатеринбург, 2013. – 98 с.

3. Кошелева Н.А., Шейкман Д.В. Паркетные полы с высокими прочностными свойствами из малоценной лиственной древесины // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/118-14024> (дата обращения: 21.07.2014).
4. Матвиенков, Г. М. Деревянные полы : монография / Г. М. Матвиенков. – М.: МГУЛ, 2008. – 449 с.
5. Шамаев В.А. Модифицирование древесины [Электронный ресурс]: монография / В.А. Шамаев, Н.С. Никулина, И.Н. Медведев. – М.: ФЛИНТА, 2013. – 448 с.

Рецензенты:

Уласовец В.Г., д.т.н., профессор кафедры механической обработки древесины ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург;

Черемных Н.Н., д.т.н., профессор, Заслуженный изобретатель РФ, заведующий кафедрой начертательной геометрии и машиностроительного черчения, «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург.