Электронный архив УГЛТУ

6. На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что по совокупности прочностных показателей оптимальным поглощением для МПС является 10 ± 2 кг/м^3, а для солевого препарата и «Аммофона-1» – 30–40 кг/м^3, что соответствует требованиям ГОСТа 30495-2006 «Средства защитные для древесины. Общие технические условия» [5].

7. В среднем прочность на изгиб у пропитанной древесины данными антипиренами ниже аналогичной прочности для массивной древесины. Отклонение для «Аммофона-1» составляет 35 %; для солевого состава – 41 %; для МПС – 86 %, что не допускается ГОСТом 30495-2006 (до 20 %) (см. рис. 2).

8. В среднем прочность на сжатие пропитанной древесины также ниже аналогичной прочности для массивной древесины. Отклонение для «Аммофона-1» составляет 48 %; для солевого состава – 22 %; для МПС – 21 %, что не допускается ГОСТом 30495-2006.

Библиографический список

1. Стенина Е.И., Левинский Ю.Б. Защита древесины и деревянных конструкций: учебн. пособие / Федеральное агентство по образованию, Урал. гос. лесотехн. ун-т. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 223 с.

2. ГОСТ 16483.10-73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200014949 (дата обращения: 01.08.2019).

3. ГОСТ 16483.3-84 (СТ СЭВ 390-76). Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200008473 (дата обращения: 01.08.2019).

4. ГОСТ 16483.5-73. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200014946 (дата обращения: 01.08.2019).

5. ГОСТ 30495-2006. Средства защитные для древесины. Общие технические условия. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200049633 (дата обращения: 01.08.2019).

УДК 674.049.2

Н.А. Тарбеева, О.А. Рублева
(N.A. Tarbeeva, O.A. Rubleva)
(ВятГУ, г. Киров, РФ)
E-mail для связи с авторами: nataly.ntar534@yandex.ru

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМОВ ПЬЕЗОТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТЕПЕНЬ УПЛОТНЕНИЯ ЗАГОТОВОК ИЗ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE EFFECT OF PIEZOTHERMIC TREATMENT MODES ON THE DEGREE OF DENSIFICATION OF PINE WOOD BLANKS

Одним из наиболее важных показателей, характеризующих результат пьезотермической обработки заготовок из древесины, является степень уплотнения. Целью данного исследования является установление зависимости между степенью уплотнения и режимами пьезотермической обработки заготовок из древесины сосны.

Электронный архив УГЛТУ

Благодаря статистической обработке экспериментальных данных получена математическая модель, позволяющая с высокой точностью рассчитывать в исследуемом диапазоне значения функции степени уплотнения. На основании установленной зависимости определены благоприятные режимы обработки заготовок.

One of the most important indicators characterizing the result of piezo-thermal processing of wood blanks is the degree of densification. The purpose of this research is to establish the influence between the degree of densification and the modes of piezo-thermal processing of pine wood blanks. Due to the statistical processing of experimental data, a mathematical model for calculating the degree of densification in the range of values of the function with high accuracy was obtained. Based on the established dependencies, favorable processing modes for the workpieces are determined.

Прессование широко применяется в деревообработке для упрочнения и декорирования заготовок из древесины [1, 2]. На основе процесса прессования древесины разработан многоступенчатый способ декоративной упрочняющей обработки заготовок, основанный на совокупности обжига, брашированиия и пьезотермической обработки [3]. При его исследовании возникает необходимость в установлении зависимостей физико-механических свойств заготовок от режимов обработки. На первом этапе обработки (декорировании) на лицевой поверхности заготовок формируют контрастную рельефную поверхность. Режимы декоративной обработки оказывают влияние только на внешний вид заготовок, поэтому их подбирают индивидуально. На втором этапе – пьезотермической обработке – происходит изменение физико-механических свойств заготовок. Для определения режимов пьезотермической обработки, обеспечивающих повышение прочностных свойств, необходимо проведение экспериментальных исследований.

Одним из наиболее важных показателей, характеризующих результат пьезотермической обработки, является плотность заготовок из древесины. Благодаря ей можно получить опосредованную оценку твердости и износостойкости материала. В связи с этим целью данного исследования является установление зависимости изменения плотности в результате пьезотермической обработки.

Древесина, как материал, обладает значительной вариативностью свойств не только в пределах одной породы, но и в пределах ствола, поэтому оценивать изменение плотности наиболее рационально не в абсолютных значениях (кг/м^3), а в относительных величинах (долях единицы или процентах). Так, для оценки изменения плотности принята относительная величина – *степень уплотнения* γ, которая определяется как отношение плотности обработанных заготовок ρ_n к начальной плотности ρ_0:

$$\gamma = \frac{\rho_n}{\rho_0} 100\,\%. \qquad (1)$$

Для исследования зависимости степени уплотнения заготовок из древесины сосны от режимов пьезотермической обработки проведен дробный двухуровневый четырехфакторный эксперимент 2^{4-1}. Варьируемые факторы – *угол наклона волокон в заготовке* α (X_1), *влажность* W (X_2), *степень прессования* ε (X_3) и *температура термической обработки (ТО)* T (X_4). Исследуемая зависимая переменная (отклик) – *степень уплотнения* γ (Y). Результаты эксперимента представлены в таблице.

Электронный архив УГЛТУ

Результаты эксперимента

№ опыта	Факторы							Отклик Y (γ), %
	X_1	α, град	X_2	W, %	X_3	ε, %	X_4	
7	+	45	–	7	+	55	+	122
4	+	45	+	17	–	50	+	123
6	–	30	+	17	+	55	+	127
8	+	45	+	17	+	55	–	122
1	–	30	–	7	–	50	+	140
2	–	30	+	17	–	50	–	119
5	–	30	–	7	+	55	–	138
3	+	45	–	7	–	50	–	118

По итогам эксперимента в программе STATISTICA [4] проведена статистическая обработка данных, получены следующие результаты. Установлена корреляция между факторами, их взаимодействиями и зависимой переменной (рис. 1).

Корреляции факторов и переменных (Таблица.sta)
4 двухуров. фактора(ов)

Фактор	(1) Угол наклона	(2) Влажность	(3) Степень прессования	(4) Температура т.о.	1 на 2	1 на 3	1 на 4	2 на 3	2 на 4	3 на 4	Степень уплотнения, %
(1)Угол наклона	1,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,64
(2)Влажность	0,00	1,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,42
(3)Степень прессования	0,00	0,00	1,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,13
(4)Температура т.о.	0,00	0,00	0,00	1,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,23
1 на 2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-1,0	0,58
1 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	1,0	0,0	0,0	-1,0	0,0	-0,03
1 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	1,0	-1,0	0,0	0,0	-0,06
2 на 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	-1,0	1,0	0,0	0,0	0,06
2 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	-1,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,03
3 на 4	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	-0,58
Степень уплотнения, %	-0,64	-0,42	0,13	0,23	0,6	-0,0	-0,1	0,1	0,0	-0,6	1,00

Рис. 1. Корреляция факторов и зависимой переменной

Данные таблицы свидетельствует о том, что между фактором *угол наклона* α, взаимодействиями αW, εT и зависимой переменной *степени уплотнения* γ, согласно шкале для технических измерений [5], имеется средняя корреляция (0,5–0,7). Фактор *влажности* имеет слабоватую корреляцию (0,3–0,5). *Степень прессования* и *температура ТО* – слабую (0,1–0,3).

Наиболее сильное воздействие из рассматриваемых факторов на *степень уплотнения* заготовок оказывает *угол наклона волокон в заготовке*. Его влияние отрицательно, то есть при его уменьшении значение зависимой переменной увеличивается. Наименьшее влияние на отклик оказывает фактор *степень прессования* ε.

С целью достоверности сделанных выводов проведен дисперсионный анализ, результаты которого представлены на рисунке 2. Из него исключены незначимые взаимодействия факторов и те, определение которых по причине смешения эффектов невозможно.

Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют, что наибольшую изменчивость (около 41,5 %) зависимой переменной *степени уплотнения* γ, характеризуемой *статистикой* s^2, объясняет фактор *угол наклона*. Взаимодействие факторов αW объясняет 33,7 % изменчивости переменной γ. Далее идут факторы *влажности*, *температуры ТО* и *степени прессования*, каждый из которых характеризует 17,5; 5,1 и 1,7 % изменчивости соответственно.

Электронный архив УГЛТУ

Фактор	Дисперсионный анализ; Прм.:Степень уплотнения, %; R-кв.=,99481 4 двухуров. фактора(ов); Остаточн.SS=1,25				
	SS	cc	MS	F	p
(1)Угол наклона	200,0000	1	200,0000	160,0000	0,006192
(2)Влажность	84,5000	1	84,5000	67,6000	0,014473
(3)Степень прессования	8,0000	1	8,0000	6,4000	0,127128
(4)Температура т.о.	24,5000	1	24,5000	19,6000	0,047421
1 на 2	162,0000	1	162,0000	129,6000	0,007628
Ошибка	2,5000	2	1,2500		
Общая SS	481,5000	7			

Рис. 2. Дисперсионный анализ

Дисперсионный анализ подтверждает результаты корреляционного анализа. Уровень значимости (p) критерия Фишера (F) для всех факторов, кроме *степени прессования* ε, меньше 0,05.

Факторы воздействуют на зависимую переменную достоверно и при этом являются статистически значимыми.

Несмотря на статистическую незначимость фактора ε, включение его в модель позволяет повысить коэффициент детерминации. Таким образом, получена модель в кодированном виде:

$$y = 126{,}25 - 5X_1 - 3{,}25X_2 + X_3 + 1{,}75X_4 + 4{,}5X_1X_2, \quad (2)$$

и в натуральных значениях факторов:

$$\gamma = 172{,}8 - 2{,}1067\alpha - 5{,}15W + 0{,}4\varepsilon + 0{,}1167T + 0{,}12\alpha W. \quad (3)$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}99$, что говорит о том, что построенная модель с высокой степенью точности описывает взаимосвязь между факторами и зависимой переменной.

По полученному уравнению регрессии определены предсказанные значения зависимой переменной *степени уплотнения* γ и остатков (рис. 3).

Наблюд. план	Наблюдаемые, предсказанные значения и остатки (Таблица.sta) 4 двухуров. фактора(ов); Остаточн.SS=1,25 ЗП Степень уплотнения, %		
	Наблюдае	Предск.	Остатки
1	122,0000	122,7500	-0,750000
2	123,0000	123,2500	-0,250000
3	127,0000	126,2500	0,750000
4	122,0000	121,7500	0,250000
5	140,0000	139,7500	0,250000
6	120,0000	120,7500	-0,750000
7	138,0000	138,2500	-0,250000
8	118,0000	117,2500	0,750000

Рис. 3. Предсказанные значения зависимой переменной и остатки

Электронный архив УГЛТУ

Доверительная вероятность модели [5], оцененная благодаря анализу остатков, составила D = 99,3 %, что наряду с коэффициентом детерминации R^2 подтверждает высокую достоверности модели.

Для оценки нормальности распределения остатков [6] построен нормальный вероятностный график, представленный на рисунке 4.

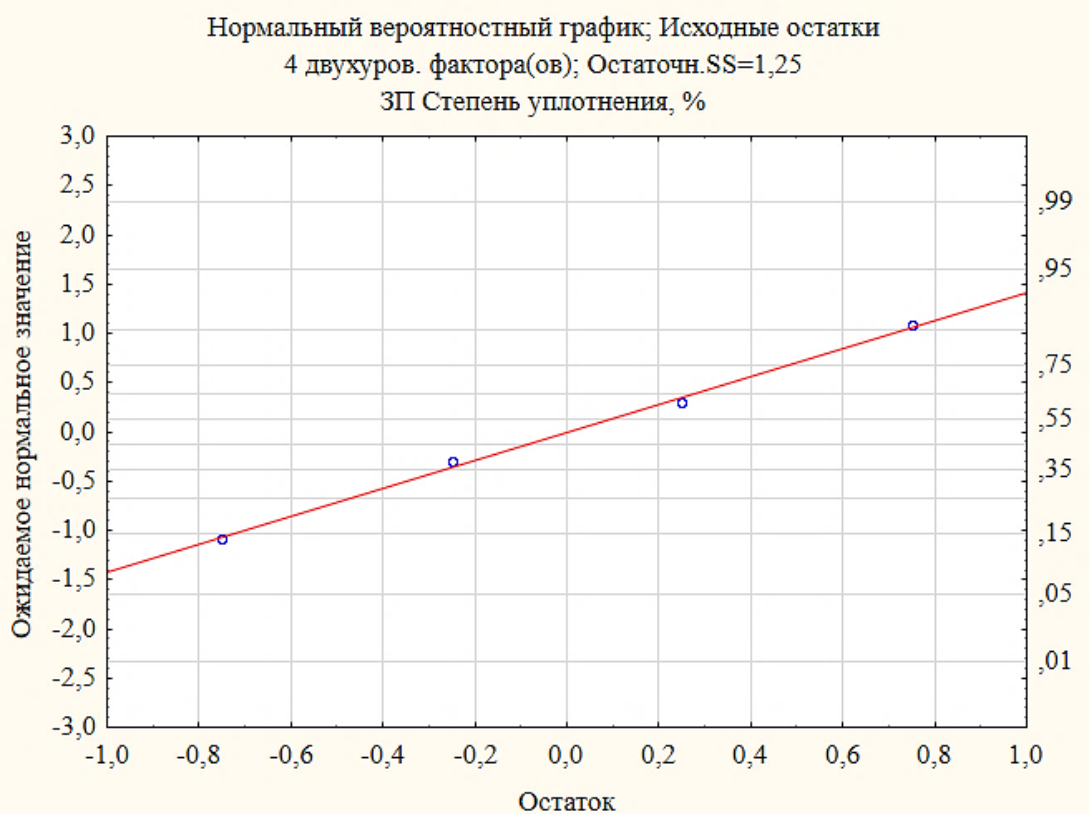


Рис. 4. Нормальный вероятностный график остатков

На данном графике по оси абсцисс отложены наблюдаемые значения остатков, а по оси ординат – ожидаемые значения остатков, упорядоченные по возрастанию, соответствующие нормальному распределению. Все значения остатков (точки) укладываются на прямую ожидаемых нормальных значений, что говорит о нормальном распределении остатков [6].

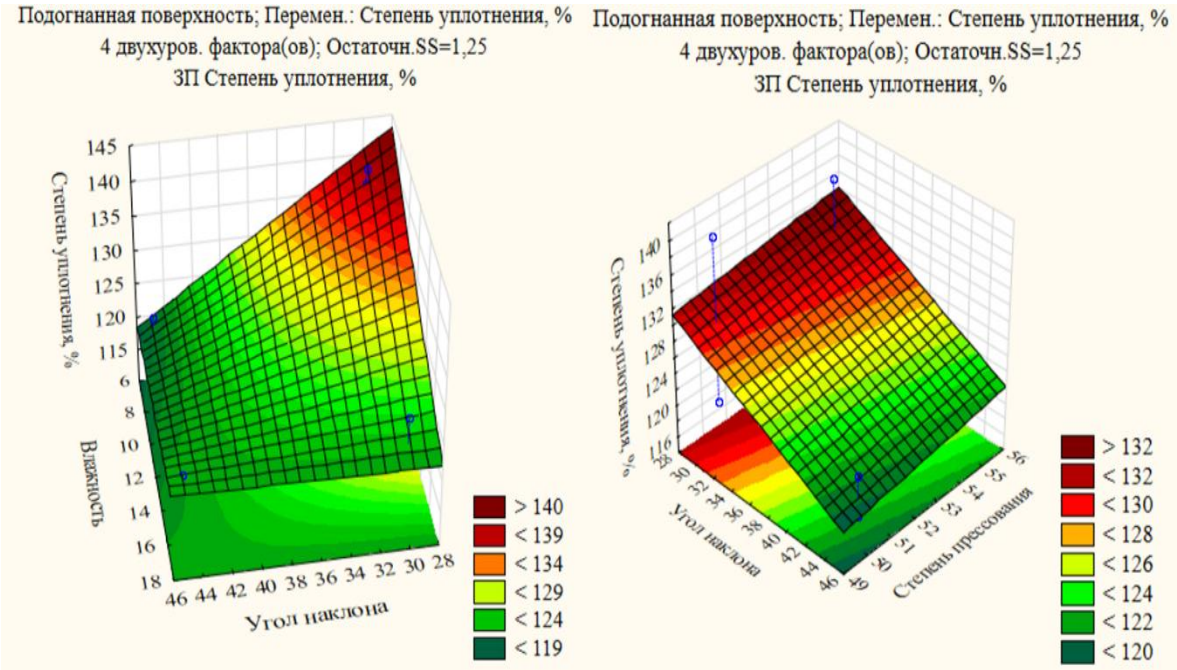
Карта Парето-эффектов (рис. 5) позволяет ранжировать рассматриваемые факторы в порядке их значимости. Вертикальная линия, которая представляет на 95 % доверительную вероятность, указывает, каким должен быть минимальный эффект, чтобы он был статистически значим.

Можно предполагать, что фактор *степени прессования* оказался статистически не значим по причине выбранной достаточно узко области определения. Для установления более точного влияния *степени прессования* на *степень уплотнения* заготовок необходимы дополнительные экспериментальные исследования.

Для достижения повышенной твердости и износостойкости деталей из древесины необходимо обеспечивать более высокую *степень уплотнения* заготовок в процессе пьезотермической обработки. Благодаря графикам подогнанной поверхности, представленных на рисунке 6, можно выявить области определения факторов в исследуемом диапазоне, в которых зависимая переменная *степень уплотнения* является максимальной.

Электронный архив УГЛТУ

Рис. 5. Карта Парето-эффектов



а *б*

Рис. 6. Подогнанные поверхности степени уплотнения при фиксированных значениях: *а* – ε = 52,5 %, *T* = 165 °С; *б* – *W* = 12 %, *T* = 165 °С

Согласно графикам, наиболее высокой степени уплотнения заготовок можно достичь путем подбора исходного сырья с минимальным углом наклона волокон и их обработкой при влажности 6–10 %.

Таким образом, в ходе статистической обработки экспериментальных данных по определению *степени уплотнения* получена математическая модель с одним парным

Электронный архив УГЛТУ

взаимодействием факторов, позволяющая с достаточной степенью точности предсказывать значения функции как в рассматриваемых диапазонах изменения факторов, так и в некоторых областях за их пределами (коэффициент детерминации модели R^2 = 0,99, доверительная вероятность D = 99,3 %).

Выявлены статистически значимые факторы: *угол наклона волокон в заготовке* α, *влажность W*, *температура ТО (Т)*, а также парное взаимодействие α*W*. В результате анализа полученной зависимости определены благоприятные для обработки заготовок режимы, например, угол наклона волокон в заготовке α – не более 30 град., влажность *W* – не более 10 %, степень прессования ε – не менее 50 %, температура *ТО* – 180 °С.

Библиографический список

1. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1964. 348 с.

2. Шамаев В.А. Перспективы производства и применения модифицированной древесины // Научный журнал КубГАУ – Scientific Journal of KubSAU. 2012. № 78. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-proizvodstva-i-primeneniya-modifitsirovannoy-drevesiny (дата обращения: 14.05.2019).

3. Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Технология изготовления упрочненного декоративного отделочного материала из массивной древесины // Экологические и биологические основы повышения продуктивности и устойчивости природных и искусственно возобновляемых лесных экосистем: мат-лы Международн. науч.-практич. конф., посвященной 100-летию высшего лесного образования в г. Воронеж и ЦЧР России. Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», 2018.

4. Электронный учебник по статистике. URL: http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stexdes.html (дата обращения 10.05.2019).

5. Мазуркин П.М., Сафин Р.Г., Просвирников Д.Б. Статистическое моделирование процессов деревообработки: учебн. пособие. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2014. 342 с.

6. Халафян А.А. Промышленная статистика: контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA: учеб. пособие. М.: Либроком, 2013. 384 с.

УДК 65.012.122

В.В. Чамеев, В.В. Иванов
(V.V. CHameev, V.V. Ivanov)
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)
E-mail для связи с авторами: victor.82@mail.ru

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ЛЕСООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ ПРИ РАСКРОЕ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ПИЛОПРОДУКЦИЮ

FACTORS AFFECTING THE WORKING OF WOOD-WORKING MACHINES IN LONG-TERM ROUNDWOOD

Дана классификация факторов, влияющих на временные параметры распиловки лесоматериалов на лесообрабатывающих станках. Намечены пути экспериментального учёта влияния этих факторов на процесс.