

## Экспериментальное исследование комбинированного процесса изготовления облицовочных изделий на основе пьезотермической обработки деревянных заготовок

Н.А. Тарбеева<sup>1а</sup>, О.А. Рублева<sup>1б</sup>, А.Г. Гороховский<sup>2с</sup>, Е.Е. Шишкина<sup>2д</sup>

<sup>1</sup> Вятский государственный университет, ул. Московская, 36, Киров, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, ул. Сибирский Тракт, 37, Екатеринбург, Россия

<sup>а</sup> nataly.ntar534@yandex.ru, <sup>б</sup> olga\_ru@vyatsu.ru, <sup>с</sup> goralegr@yandex.ru, <sup>д</sup> elenashishkina@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2258-9245>; <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>;

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>; <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

Статья поступила 11.01.2021, принята 28.01.2021

*Ограниченность сырьевой базы твердолиственной древесины является стимулом для поиска альтернативных видов древесного сырья в производстве облицовочных изделий и разработки новых направлений переработки древесных отходов. Способ комбинированной обработки на основе объединения операций обжига, браширования, прессования и термической обработки направлен на комплексное повышение декоративных и физико-механических свойств заготовок из недефицитных хвойных пород, что способствует их использованию наравне с твердолиственными породами. Внедрение способа в промышленность сдерживается отсутствием научно обоснованных рекомендаций по выбору технологических режимов обработки. В связи с этим целью данной работы является определение оптимальных технологических режимов обжига, браширования, прессования и термообработки. В результате анализа информации об указанных процессах обработки заготовок из древесины установлен перечень факторов в виде режимных параметров и требований к заготовкам, обозначены показатели, характеризующие результат обработки. В процессе экспериментального исследования определено влияние угла наклона волокон в заготовке, влажности древесины, степени прессования и температуры термической обработки на степень уплотнения заготовок, их боковое расширение, шероховатость поверхности и показатель водопоглощения. Статистическая обработка экспериментальных данных позволила получить математические модели для прогнозирования свойств заготовок в результате пьезотермической обработки и подбора необходимых технологических режимов. На основании полученных регрессионных зависимостей установлены требования к заготовкам: тангенциальный распил (угол наклона волокон не более 35 град.), влажность 8–12 %; установлены режимы пьезотермической обработки: степень прессования 50–60 %, температура термической обработки — 170–200 °С.*

**Ключевые слова:** прессование древесины; термообработка; браширование; планируемый эксперимент; зависимые переменные.

## Experimental research of the combined process of manufacturing facing products based on piezothermal processing of wood blanks

N.A. Tarbeeva<sup>1а</sup>, O.A. Rubleva<sup>1б</sup>, A.G. Gorokhovskiy<sup>2с</sup>, E.E. Shishkina<sup>2д</sup>

<sup>1</sup> Vyatka State University; 36 Moskovskaya St., Kirov, Russia

<sup>2</sup> Ural State Forest Engineering University; 37, Sibirsky Tract St., Ekaterinburg, Russia

<sup>а</sup> nataly.ntar534@yandex.ru, <sup>б</sup> olga\_ru@vyatsu.ru, <sup>с</sup> goralegr@yandex.ru, <sup>д</sup> elenashishkina@yandex.ru

<sup>а</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2258-9245>, <sup>б</sup> <https://orcid.org/0000-0003-0756-6130>

<sup>с</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8847-8217>, <sup>д</sup> <https://orcid.org/0000-0002-2584-4897>

Received 11.2020, accepted 2020

*The limited raw material base of hardwood is a stimulus for the search for alternative types of wood raw materials in the manufacture of facing products and the development of new directions for processing wood waste. Multi-stage processing based on combining the operations of firing, brushing, pressing and heat treatment is aimed at a comprehensive increase in the decorative and physical and mechanical properties of blanks from non-scarce conifers, which contributes to their use on a par with hardwood species. The introduction of the method into industry is constrained by the lack of scientifically grounded recommendations for the selection of technological processing modes. The purpose of the work is to determine the optimal technological modes of processing of wood blanks. As a result of the analysis of information on the processing of wood blanks by firing, brushing, pressing and heat treatment, a list of factors has been established in the form of operating parameters and requirements for blanks indicators characterizing the result of processing have been designated. In the process of experimental research, the influence of the angle of inclination of the fibers in the workpiece, wood moisture, the degree of pressing and the temperature of heat treatment on the degree of compaction of the workpieces, their lateral expansion, surface roughness and water absorption rate have been established. Statistical processing of experimental data made it possible to obtain mathematical models for predicting the properties of workpieces as a result of piezothermal treatment and selection of the*

*necessary technological modes. Based on the obtained regression dependencies, the requirements for the wood blanks were determined: tangential cut (the angle of inclination of the fibers is not more than 35 degrees), moisture content 8-12 %, the modes of piezothermal treatment are set: the degree of pressing is 50-60 %, the temperature of heat treatment is 170-200 °C.*

**Keywords:** wood pressing; heat treatment; brushing; planned experiment; dependent variables.

**Введение.** Твердолиственная древесина является традиционным сырьем для производства отделочных материалов, облицовочных изделий, лицевых деталей мебели и декора [1–3]. Ограниченность природно-сырьевой базы твердолиственной древесины указывает на необходимость поиска альтернативных видов древесного сырья для изготовления подобной продукции [4; 5]. Вместе с тем, на лесопильных и деревообрабатывающих предприятиях в процессе производства образуется большое количество древесных отходов [6], наиболее ценными из которых считаются кусковые отходы [7]. Ключевыми направлениями переработки кусковых отходов являются производство мелкой пилопродукции, товаров народного потребления, измельчение в технологическую щепу [8–10], т. е. направления, где не требуется особых прочностных и декоративных свойств. Использование кусковых отходов деревообработки для облицовочных изделий достаточно ограничено по причине их низкой декоративной ценности и отсутствия конкурентоспособных технологических решений для комплексного повышения их декоративных и физико-механических свойств.

Известно, что древесина относится к материалам, свойства которых можно изменять в широких диапазонах за счет различных способов обработки [11–13]. Прессование и термическая обработка (ТО) древесины, в том числе пьезотермическая обработка — наиболее перспективные направления повышения физико-механических свойств [14–16]. Декоративные свойства заготовок могут быть повышены за счет структурирования древесины брашированием с предварительным обжигом [17; 18]. Авторами предложен комбинированный способ обработки заготовок из древесины на основе обжига, браширования и пьезотермической обработки [19], направленный на комплексное повышение как физико-механических, так и декоративных свойств материала, что дает возможность использовать не дефицитные хвойные породы (сосна, ель) в виде тонких реек и короткомерных отрезков для изготовления облицовочных изделий и отделочных материалов. Особенностью способа является объединение операций обжига, браширования, прессования и термической обработки в единый технологический процесс. На первом этапе обработки заготовки обжигают и брашируют, за счет чего формируется контрастная рельефная поверхность, затем полученный рельеф выравнивают прессованием, обеспечивая повышение твердости и гигиеничности лицевого слоя, и на заключительном этапе заготовки подвергают термической обработке для повышения устойчивости древесины к различным негативным факторам — воздействию влаги, поражению насекомыми и грибами, стабилизации формы и размеров деталей.

Внедрение способа комбинированной обработки в промышленность сдерживается отсутствием научно обоснованных рекомендаций по выбору режимов обработки и сведений об эффективности процесса. В связи с

этим целью данной работы является установление оптимальных режимов обработки заготовок в процессе обжига, браширования, прессования и термической обработки. *Задачи исследования:*

- 1) установить основные физико-механические показатели заготовок из древесины, характеризующие результат обработки обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой;
- 2) выявить ключевые факторы процессов обработки, влияющие на установленные показатели;
- 3) установить общие закономерности изменения физико-механических свойств заготовок из древесины в процессе комбинированной обработки;
- 4) определить регрессионные зависимости факторов и зависимых переменных;
- 5) установить благоприятные диапазоны исследуемых факторов процесса (режимных параметров) для оптимального соотношения зависимых переменных.

**Материалы и методы исследования.** Основные физико-механические показатели заготовок, определяющие результат обработки обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой, а также наиболее значимые факторы, влияющие на установленные показатели, определяли на основе анализа публикаций и научных трудов, нормативно-технической документации, в том числе практических рекомендаций предыдущих исследователей касательно вопросов обработки древесины указанными операциями.

Общие закономерности изменения свойств заготовок в результате комбинированной обработки устанавливали с помощью поисковых экспериментов на образцах из древесины сосны тангенциального распила размерами 12х55х70 мм, влажностью 7 % и плотностью 430 кг/м<sup>3</sup>. Заготовки обжигали с лицевой стороны до образования равномерно обугленной черной растрескавшейся поверхности и обрабатывали металлической и нейлоновой щеткой в направлении вдоль волокон до выявления наиболее контрастной фактуры древесины (шероховатость поверхности не более  $R_{\text{max}} = 1\ 500$  мкм). Прессование проводили плоскими плитами в гидравлическом прессе по металлическим упорам, располагаемым вдоль кромок образцов. Варьировали значением степени прессования на четырех уровнях — 16,7; 33,3; 41,6; 58,3 % (высота упоров 10, 8, 7 и 5 мм соответственно). Термообработку осуществляли в сушильном шкафу. Температурой ТО варьировали на двух уровнях, 90 и 180 °C. Продолжительность обработки составляла 1 ч. В результате оценивали изменение таких показателей, как плотность древесины, шероховатость поверхности, равновесную влажность и водопоглощение. На основании результатов поисковых экспериментов делали вывод об эффективности объединения операций.

Для установления регрессионных зависимостей между факторами и откликами, определенными на основе анализа и по результатам поисковых экспериментов, проведен планируемый эксперимент на образцах

из древесины сосны размерами 40x20x15 мм. Характеристики и условия обработки образцов обжигом и брашированием аналогичны характеристикам обработки при проведении поисковых экспериментов. Прессование также проводили по металлическим упорам плоскими плитами в гидравлическом прессе, термообработку образцов — в сушильном шкафу. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных проводили в программном продукте STATISTICA.

**Результаты исследования, их обсуждение.** В результате анализа информации касательно процессов обработки заготовок из древесины обжигом и брашированием, прессованием и термической обработкой [9–19] получены следующие данные. Ключевым показателем, характеризующим результат обработки обжигом, является равномерность. Показатель контролируется визуально. На равномерность обжига оказывают влияние такие факторы, как порода древесины, особенности строения и наличие пороков (сучков), влажность заготовок, скорость перемещения пламени по поверхности. Породы с более высокой плотностью, повышенной влажностью сложнее поддаются обжигу. Наличие сучков в заготовках препятствует равномерности обработки.

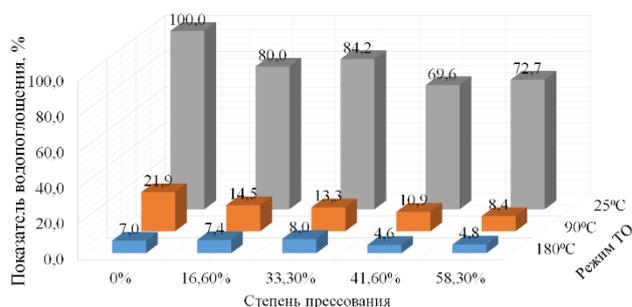
Показателями, характеризующими результат обработки брашированием, являются эстетические свойства (текстура и контрастность), а также шероховатость поверхности. На данные показатели установлено влияние таких факторов, как порода древесины, распил заготовок, их влажность, применяемое технологическое оборудование, инструмент и степень обработки. Брашированию поддаются только хвойные и кольцесосудистые лиственные породы древесины. Наиболее красивая текстура формируется на заготовках тангенциального распила. Заготовки предпочтительно обрабатывать в сухом состоянии (влажность 8–12 %), это исключает образование на поверхности ворсистости и заусенцев. Обработка щетками обеспечивает большую шероховатость поверхности по сравнению с дробеструйной или пескоструйной обработкой, где «ребенчатый» рельеф между ранней и поздней зонами древесины сглажен. Оптимальной считается обработка до обеспечения максимальной контрастности в оттенках между ранней и поздней древесиной (шероховатость не более  $R_{\text{max}} = 1\ 500$  мкм).

Результат обработки прессованием обычно характеризуют такими показателями, как величина упрессовки, прочность и твердость. Также следует учитывать поперечную деформацию заготовок. На процесс прессования заготовок из древесины оказывают влияние следующие факторы: 1) порода древесины: различия строения древесины на микро- и макроуровне влияют на ее деформативные свойства; 2) влажность и температура заготовок: их воздействие улучшает податливость древесины, снижает коэффициент внутреннего трения; 3) степень прессования определяет уплотнение древесины; 4) распил заготовки (наклон волокон, кривизна годичных колец), соотношение ранней и поздней зон древесины определяют величину поперечной деформации; 5) скорость нагружения и время выдержки под нагрузкой определяют долю пластической деформации; 6) наличие / отсутствие обжига заготовок, смолистость оказывает влияние на поперечную деформацию и коробление заготовок.

На этапе термической обработки важно оценивать прочность заготовок, водопоглощение, эстетические свойства, которые особо важны при изготовлении облицовочных изделий. Данные показатели находятся в зависимости от температуры и влажности агента обработки, продолжительности его воздействия.

Рассмотренные показатели, характеризующие результат обработки обжигом, брашированием, прессованием и термообработкой, а также факторы, оказывающие влияние на данные процессы, необходимо учитывать при проведении экспериментальных исследований.

В результате проведения поисковых экспериментов комбинированной обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой установлены общие закономерности изменения физико-механических и декоративных свойств заготовок. Отмечено, что прессование и термообработка не оказывают негативного влияния на декоративные свойства брашированной поверхности. Вместе с этим, шероховатость поверхности при максимальной степени прессования, равной 58,3 % уменьшается с  $R_{\text{max}} = 1\ 500$  мкм до  $R_{\text{max}} = 250\text{--}300$  мкм, а плотность древесины возрастает до 650–700 кг/м<sup>3</sup>, т. е. в 1,5 раза. Равновесная влажность заготовок, прошедших дополнительно термическую обработку в среднем снижается на 1,5–2 %. Наиболее наглядно эффективность объединения операций прессования и термической обработки демонстрирует снижение показателя водопоглощения (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение показателя водопоглощения в зависимости от режима пьезотермической обработки

Неблагоприятным последствием комбинированной обработки является поперечная деформация и коробление заготовок при прессовании, усиливающаяся в результате термической обработки. Это важно учитывать при назначении режимов обработки.

Так, благодаря поисковым экспериментам удалось установить основные закономерности изменения декоративных и физико-механических свойств заготовок в процессе прессования и последующей термической обработки. Но полученных данных является крайне недостаточно для определения оптимальной совокупности режимов обработки заготовок. С целью ее выявления проведены исследования, поставлен планируемый эксперимент.

На этапе планируемого эксперимента режимами обжига и браширования не варьировали. На основании практических рекомендаций для обработки заготовок назначена глубина обжига в пределах 1 мм, браширование вдоль волокон металлической и нейлоновой щетками до шероховатости  $R_{\text{max}} = 1\ 500$  мкм.

Для исследования процесса пьезотермической обработки проведен дробный двухуровневый четырехфакторный эксперимент, схема которого представлена на рис. 2. Варьируемые факторы — Угол наклона волокон в заготовке  $\alpha$ , град., Влажность заготовок  $W$ , %, Степень прессования  $\varepsilon$ , град., Температура  $TO$  ( $X_4$ ),

Степень прессования  $\varepsilon$ , % и Температура термообработки  $t$ , °C (табл. 1); исследуемые отклики — Степень уплотнения  $\gamma$ , %, Боковое расширение  $\beta$ , %, Шероховатость поверхности  $R_{\text{max}}$ , мкм, Показатель водопоглощения  $G$ , с.

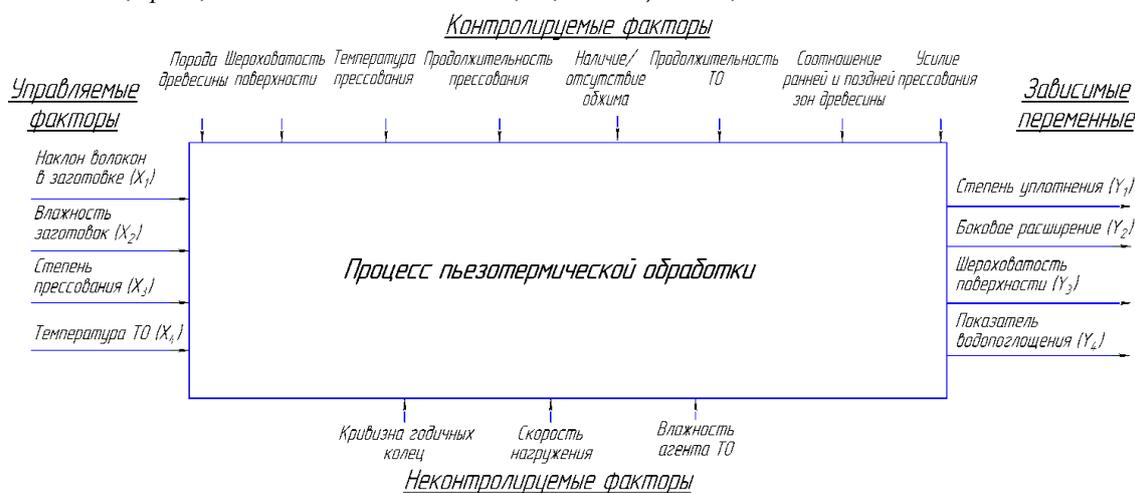


Рис. 2. Схема проведения эксперимента

Значения варьируемых (управляемых) факторов в натуральном и кодированном виде представлены в табл. 1.

Таблица 1. Варьируемые факторы эксперимента

Наименование фактора	Обозначение	Кодированное обозначение	Значение фактора при уровнях варьирования			
			Нижний уровень		Верхний уровень	
			Натуральное	Кодированное	Натуральное	Кодированное
Угол наклона волокон в заготовке, град.	$\alpha$	X1	30	–	45	+
Влажность древесины, %	W	X2	7	–	17	+
Степень прессования, %	$\varepsilon$	X3	50	–	55	+
Температура TO, °C	t	X4	150	–	180	+

Результаты эксперимента представлены в табл. 2.

Одним из наиболее важных показателей, характеризующих результат пьезотермической обработки, является плотность заготовок из древесины. Изначально исследовали образцы с разной плотностью древесины (450 и 512 кг/м<sup>3</sup>), в связи с чем абсолютный показатель плотности заменен на относительную величину — Степень уплотнения  $\gamma$ . Полученная экспериментально-статистическая модель для Степени уплотнения представляет собой полином второй степени включающая линейные эффекты и эффект взаимодействия факторов  $\alpha W$ :

$$\gamma = 1728 - 2,1067\alpha - 5,15W + 0,4\varepsilon + 0,116T + 0,12\alpha W. \quad (1)$$

Коэффициент детерминации модели  $R^2 = 0,99$ , что свидетельствует о том, что построенная модель с высокой степенью точности описывает взаимосвязь между факторами и зависимой переменной. Доверительная вероятность модели [20], оцененная благодаря анализу остатков, составила  $D = 99,3$  %, что, наряду с коэффициентом детерминации, подтверждает высокую достоверность модели. Ранжирование факторов по степени их воздействия на зависимую переменную  $\gamma$  представлено на диаграмме Парето (рис. 3).



Рис. 3. Диаграмма Парето влияния факторов на степень уплотнения

Установлено, что наиболее значимыми факторами являются Угол наклона волокон в заготовке  $\alpha$  и Влажность  $W$ , а также взаимодействие данных факторов  $\alpha W$ . Они объясняют более 93 % изменчивости зависимой переменной  $\gamma$ . Влияние Температуры TO на Степень уплотнения незначительно. Фактор Степень прессования оказался статистически незначим, вероятно, по причине достаточно узко выбранной области определения.

Степень уплотнения в данном случае можно рассматривать как опосредованную оценку твердости.

Чем выше твердость, тем выше износостойкость изделий из древесины. В связи с чем необходимо стремиться обеспечивать наиболее высокую степень уплотнения. Ввиду достаточно сильного отрицательного влияния факторов  $\alpha$  и  $W$  на отклик *Степень уплотнения* можно сформулировать следующие тех-

нологические требования к заготовкам, подлежащим пьезотермической обработке: распил заготовок — тангенциальный, обработка в увлажненном состоянии. Данное заключение полностью согласуется с основными положениями теории прессования, сформулированные П.Н. Хухрянским.

**Таблица 2.** Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	Входные параметры								Зависимые переменные			
	$X_1$	$\alpha$ , град.	$X_2$	$W$ , %	$X_3$	$\varepsilon$ , %	$X_4$	$t$ , °C	$\gamma$ , % (Y1)	$\beta$ , % (Y2)	$R_{\text{max}}$ , мкм (Y3)	$G$ , с (Y5)
7	+	45	-	7	+	55	+	180	122	11,65	550	339
4	+	45	+	17	-	50	+	180	123	5,25	525	745
6	-	30	+	17	+	55	+	180	127	1,30	325	1120
8	+	45	+	17	+	55	-	150	122	10,80	500	238
1	-	30	-	7	-	50	+	180	140	1,90	325	659
2	-	30	+	17	-	50	-	150	119	0,75	450	734
5	-	30	-	7	+	55	-	150	138	2,80	300	691
3	+	45	-	7	-	50	-	150	118	10,25	525	166

При прессовании древесины без обжима наблюдается поперечная деформация заготовок — боковое расширение. Величину бокового расширения можно опередить как отношение абсолютного значения расширения к начальной ширине заготовок.

Полученная в ходе статистической обработки экспериментальных данных математическая модель для прогнозирования величины бокового расширения включает в себя только линейные эффекты факторов и имеет при этом коэффициент детерминации  $R^2 = 0,95$ :

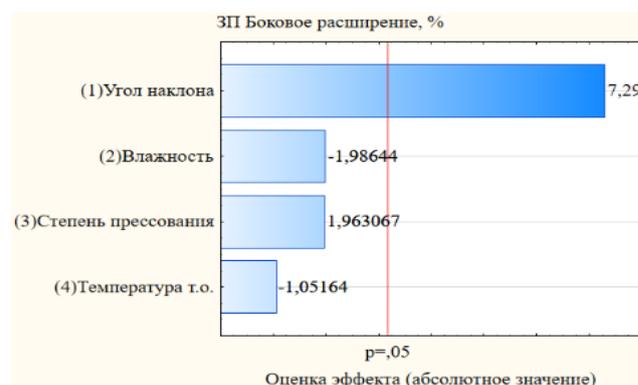
$$\beta = -27,225 + 0,52\alpha - 0,2123W + 0,42\varepsilon - 0,037T. \quad (2)$$

Учитывая, что значение достоверной вероятности модели невысокий —  $D = 44,3\%$ , ее можно применять только для прикидочной оценки.

Единственным статистически значимым фактором, определяющим величину *Бокового расширения*  $\beta$ , является *Угол наклона волокон в заготовках*  $\alpha$ , который объясняет 81,6 % ее изменчивости (рис. 4). Действие фактора положительно. В связи с этим рекомендовано использовать для обработки заготовки строго тангенциального распила. Альтернативный вариант — использование обжима.

Гигиенические свойства изделий из древесины, особенно учитываемые при производстве облицовочных изделий, могут быть сведены к показателю шероховатости обработанной поверхности.

Как показывают эксперименты, даже при значительной степени прессования образцов не наблюдается полного выравнивания рельефа, полученного в результате обжига и браширования. Тем не менее, снижение шероховатости в 3 и более раз значительно облегчает уход за декоративной поверхностью в процессе эксплуатации изделий.



**Рис. 4.** Диаграмма Парето влияния факторов на боковое расширение

Для прогнозирования режимов обработки с учетом шероховатости поверхности получена линейная модель:

$$R_{\text{max}} = 432,5 + 11,667\alpha + 2,5W - 7,5\varepsilon - 0,4167T \quad (3)$$

с коэффициентом детерминации  $R^2 = 0,86$  и достоверной вероятностью  $D = 86,7\%$ .

Аналогично случаю с *Боковым расширением*, статистически значимым является единственный фактор — *Угол наклона волокон в заготовках*  $\alpha$ , объясняющий более 80 % изменчивости зависимой переменной (рис. 5). Действие данного фактора положительное, следовательно, выбор заготовок с меньшим углом наклона волокон будет способствовать более эффективному выравниванию декоративной поверхности в процессе прессования.

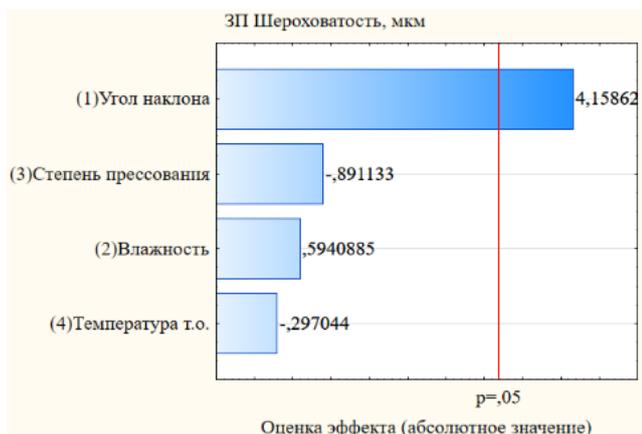


Рис. 5. Диаграмма Парето влияния факторов на шероховатость поверхности

С целью оценки защитных свойств древесины, а именно устойчивостью к воздействию влаги, выбран показатель водопоглощения, определяемый как время впитывания капли жидкости, нанесенной на декоративную пьезотермически обработанную поверхность.

По результатам статистической обработки получена математическая модель, включающие линейные эффекты факторов и эффекты их взаимодействия:

$$G = -79066 + 17483\alpha + 2455W + 1922\varepsilon - 4,97T - 5,01\alpha\varepsilon + 0,36\alpha T. \quad (4)$$

Модель имеет высокий коэффициент детерминации  $R^2 = 0,99$ , и вариация зависимой переменной  $G$  в значительной степени обусловлена изменением значений факторов модели.

Ключевыми статистически значимыми факторами в данном случае являются Угол наклона волокон в заготовке  $\alpha$ , Температура  $T$ , и Влажность заготовок  $W$ . Они объясняют около 88 % изменчивости зависимой переменной  $G$  (рис. 6). Соответственно для повышения устойчивости древесины к воздействию влаги необходимо в первую очередь учитывать распил заготовок, их влажность и температурный режим  $T$ .



Рис. 6. Диаграмма Парето влияния факторов на показатель водопоглощения

Визуальное представление изменения зависимых переменных от наиболее значимых факторов представлено на рис. 7–9.

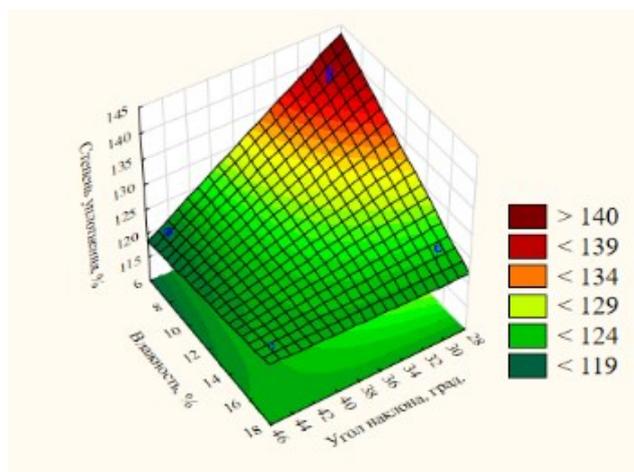


Рис. 7. График зависимости Степени уплотнения  $\gamma$  от Угла наклона волокон в заготовке  $\alpha$  и Влажности  $W$

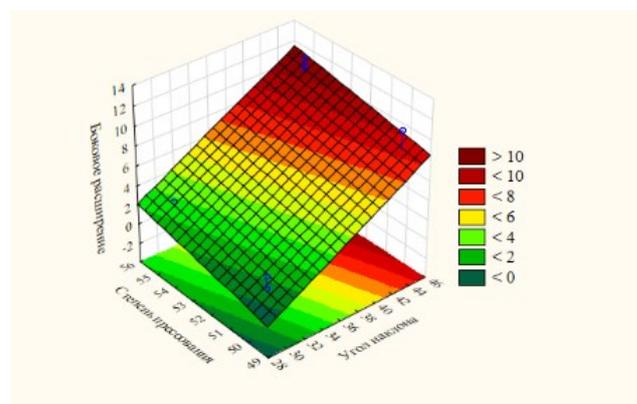


Рис. 8. График зависимости Бокового расширения  $\beta$  от Угла наклона волокон в заготовке  $\alpha$  и Степени прессования  $\varepsilon$

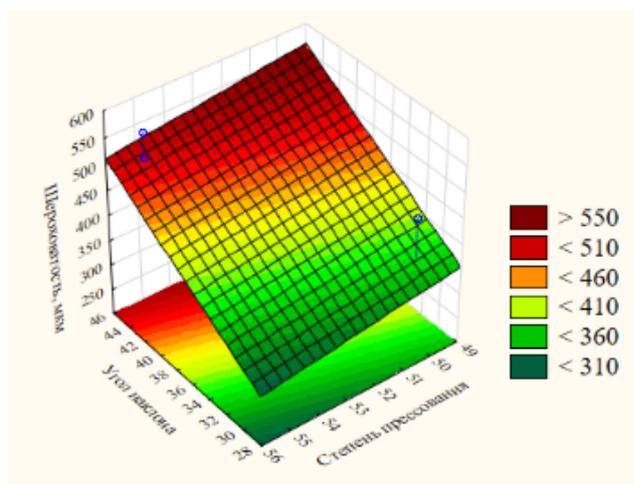


Рис. 9. График зависимости Шероховатости поверхности  $R_{max}$  от Угла наклона волокон в заготовке  $\alpha$  и Степени прессования  $\varepsilon$

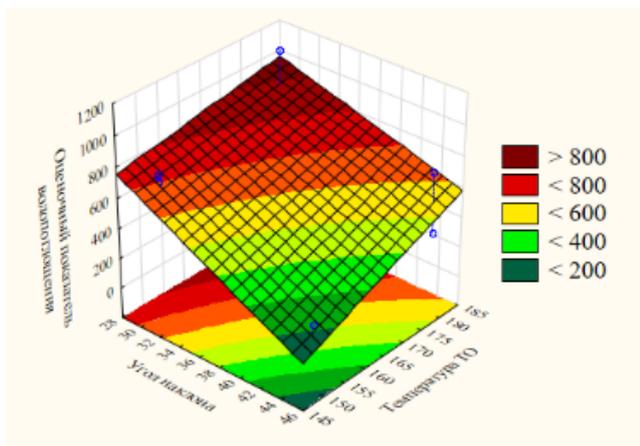


Рис. 10. График зависимости Показателя водопоглощения  $G$  от Угла наклона волокон в заготовке  $\alpha$  и Температуры термообработки  $t$

**Выводы.** В результате экспериментальных исследований установлены показатели, определяющие эффективность комбинированной обработки заготовок обжигом, брашированием, прессованием и термической обработкой, а также влияющие факторы в виде параметров режимов. Для зависимых переменных *Степень уплотнения, Боковое расширение, Шероховатость поверхности и Показатель водопоглощения* получены математические модели в виде полиномов первой и второй степени

#### Литература

1. Разиньков Е.М., Черняев А.Э. Исследование качества облицовочных ламелей для изготовления паркетных досок // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2019. Т. 7. № 3. С. 234–238.
2. Лихачева Л.Б. Прессование древесины вдоль волокон при изготовлении торцового щитового паркета: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2001. 16 с.
3. Уилхайд Э. Отделочные материалы: справ. материалов для отделки интерьеров. М.: Кладезь, 2009. 256 с.
4. Mburu F., Dumarcaya S., Hubera F., Petrissansa M., Gerardin P. Evaluation of thermally modified *Grevillea robusta* heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: Characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance // *Bioresource Technology*. 2007. V. 98. № 18. P. 3478–3486.
5. Шетько С.В., Игнатович Л.В., Гайдук С.С. Оценка эффективности методов и приемов повышения эксплуатационных характеристик малоценных мягких пород древесины для замены ценных твердолиственных пород // Технология и техника лесной промышленности: тезисы докл. 82-й науч.-технической конф. проф.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов (Минск, 6-7 февр. 2018 г.). Минск: БГТУ, 2018. С. 39–40.
6. Fomin A.A., Yudin R.V., Sadrtidinov A.R. Natural and Energy Resource Saving Based on the Development of Technology for Profile Milling of Wood Waste // *International Conference on Industrial Engineering*. Springer, Cham. 2019. P. 1455–1464.
7. Костылева С.В. Экономические и экологические аспекты комплексного использования отходов лесопереработки (на примере Иркут. области) // *Вестн. ОмГУ. Сер. Экономика*. 2016. № 3. С. 184–193.
8. Кожухов Н.И., Сазанова Е.В. Вопросы ресурсосбережения и использование кусковых отходов в лесопилении // *Изв. высш. учеб. заведений. Лесной журнал*. 2001. № 1. С. 125–130.
9. Hiramatsu Y., Tsunetsugu Y., Karube M., Tonosaki M., Fujii T. Present state of wood waste recycling and a new process for converting wood waste into reusable wood materials // *Materials Transactions*. 2002. V. 43. № 3. P. 332–339.
10. Galyavetdinov N.R., Khasanshin R.R., Safin R.R., Razumov E.Y. The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM 15th*. Sofia, 2015. P. 779–786.
11. Хухрянский П.Н. Прессование древесины. 2-е изд., испр. и доп. М.: Лесная пром-сть, 1964. 361 с.
12. Ebner D., Stelzer R., Barbu M.C. Study of wooden surface carbonization using the traditional Japanese *Yakisugi* technique // *Pro Ligno*. 2019. V. 15. № 4. P. 278–283.
13. Ветошкин Ю.И., Шейкман Д.В. Улучшение физико-механических свойств лиственной древесины облагораживанием // *Леса России и хозяйство в них*. 2013. № 3 (46). С. 55–62.
14. Kwon J.H., Han T.N., Shin R.H., Ayrilmis N. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // *Materials and design*. 2014. V. 62. P. 375–381.
15. Esteves B. Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review // *BioResources*. 2008. V. 4. № 1. P. 370–404.
16. Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. Wood modification technologies-a review // *Forest-Biogeosciences and Forestry*. 2017. V. 10. № 6. P. 895–908.
17. Udovik Y., Udovik O. Method of creating decorative wood. 2010 // *Patent US № 20100044904*.
18. Янкина А.С. Особенности браширования древесины // *Ростовский науч. журнал*. 2019. № 2. С. 287–294.
19. Тарбеева Н.А., Рублева О.А. Инновационная технология изготовления экологически чистой отделочной плитки на основе древесины // *Современная техника и технологии*:

проблемы, состояние и перспективы: материалы VIII Всерос. науч.-практической конф. (22-23 нояб. 2018 г.). Рубцовск, 2018. С. 157–163.

20. Мазуркин П.М. Статистическое моделирование процессов деревообработки. Казань: Казанский нац. исследовательский технологический ун-т, 2014. 342 с.

#### References

- Razin'kov E.M., Chernyaev A.E. Research of quality of facing lamels for production of parquet boards // Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2019. V. 7. № 3. P. 234–238.
- Lihacheva L.B. Pressing wood along the fibers in the manufacture of end shield parquet: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Voronezh, 2001. 16 p.
- Uilhajd E. Decoration Materials. Directory of materials for interior decoration: sprav. materialov dlya otdelki inter'erov. M.: Kladez', 2009. 256 p.
- Mburu F., Dumarcaya S., Hubera F., Petrissansa M., Gerardin P. Evaluation of thermally modified Grevillea robusta heartwood as an alternative to shortage of wood resource in Kenya: Characterisation of physicochemical properties and improvement of bio-resistance // Bioresource Technology. 2007. V. 98. № 18. P. 3478–3486.
- SHet'ko S.V., Ignatovich L.V., Gajduk S.S. Evaluation of the effectiveness of methods and techniques for improving the operational characteristics of low-value soft woods for replacing valuable hardwood // Tekhnologiya i tekhnika lesnoj promyshlennosti: tezisy dokl. 82-j nauch.-tekhnicheskoy konf. prof.-prepod. sostava, nauch. sotrudnikov i aspirantov (Minsk, 6-7 fevr. 2018 g.). Minsk: BGТУ, 2018. P. 39–40.
- Fomin A.A., Yudin R.V., Sadrtidinov A.R. Natural and Energy Resource Saving Based on the Development of Technology for Profile Milling of Wood Waste // International Conference on Industrial Engineering. Springer, Cham. 2019. P. 1455–1464.
- Kostyleva S.V. Economic and environmental aspects of the integrated use of wood processing waste (on the example of the Irkutsk region) // HERALD OF OMSK UNIVERSITY. Series «ECONOMICS». 2016. № 3. P. 184–193.
- Kozhuhov N.I., Sazanova E.V. Resource conservation issues and the use of lump waste in sawmilling // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal (Forestry journal). 2001. № 1. P. 125–130.
- Hiramatsu Y., Tsunetsugu Y., Karube M., Tonosaki M., Fujii T. Present state of wood waste recycling and a new process for converting wood waste into reusable wood materials // Materials Transactions. 2002. V. 43. № 3. P. 332–339.
- Galyavetdinov N.R., Khasanshin R.R., Safin R.R., Razumov E.Y. The usage of wood wastes in the manufacture of composite materials // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management SGEM 15th. Sofia, 2015. P. 779–786.
- Huhryanskij P.N. Wood pressing. 2-e izd., ispr. i dop. M.: Lesnaya prom-st', 1964. 361 p.
- Ebner D., Stelzer R., Barbu M.C. Study of wooden surface carbonization using the traditional Japanese Yakisugi technique // Pro Ligno. 2019. V. 15. № 4. P. 278–283.
- Vetoshkin YU.I., SHEjkman D.V. Improving the physical and mechanical properties of deciduous wood by refining // The Woods of Russia and economy in them. 2013. № 3 (46). P. 55–62.
- Kwon J.H., Han T.N., Shin R.H., Ayrilmis N. Properties of solid wood and laminated wood lumber manufactured by cold pressing and heat treatment // Materials and design. 2014. V. 62. P. 375–381.
- Esteves B., Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review // BioResources. 2008. V. 4. № 1. P. 370–404.
- Sandberg D., Kutnar A., Mantanis G. Wood modification technologies-a review // Forest-Biogeosciences and Forestry. 2017. V. 10. № 6. P. 895–908.
- Udovik Y., Udovik O. Method of creating decorative wood. 2010 // Patent US № 20100044904.
- Yankina A.S. Features of wood brushing // Rostov scientific journal. 2019. № 2. P. 287–294.
- Tarbeeva N.A., Rubleva O.A. An innovative technology for the production of environmentally friendly wood-based finishing tiles // Sovremennaya tekhnika i tekhnologii: problemy, sostoyanie i perspektivy: materialy VIII Vseros. nauch.-prakticheskoy konf. (22–23 noyab. 2018 g.). Rubcovsk, 2018. P. 157–163.
- Mazurkin P.M. Statistical modeling of woodworking processes. Kazan: Kazanskij nac. issledovatel'skij tekhnologicheskij un-t, 2014. 342 p.