

УДК 674.81.038.3:684.4.04

Л. В. Игнатович, Е. А. Лосик

Белорусский государственный технологический университет

**КОНСТРУКТИВНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ДРЕВЕСНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ШПОНА
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ (ОБЗОР)**

Актуальными задачами современной деревообрабатывающей промышленности являются: диверсификация производства древесных композиционных материалов на основе шпона; расширение разнообразия мебельных и столярно-строительных изделий, способных конкурировать на мировом рынке; оснащение предприятий современным оборудованием, позволяющим оперативно менять ассортимент изделий; расширение применения инновационных технологий и экологически чистых материалов.

В статье рассмотрен вопрос эффективного использования древесины мягколиственных пород для производства древесных композиционных материалов на основе шпона.

Анализ научной и технической литературы показал, что в настоящее время в деревообрабатывающей промышленности наблюдается увеличение объемов производства древесных композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий на их основе.

В данной статье выполнена оценка эффективности применения на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь композиционных материалов из шпона мягколиственных пород древесины, как альтернативного материала массивной древесине твердолиственных пород. Отмечены тенденции увеличения объемов производства шпона и композиционных материалов на его основе; зафиксировано увеличение производства конструктивных элементов мебели и столярно-строительных изделий; выполнено сравнение применяемых материалов.

Проведенный анализ научно-технической литературы позволил предложить ряд рекомендаций по следующим направлениям: 1) совершенствование выпускаемых столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели на основе экологически чистых материалов; 2) снижение доли использования твердолиственных пород древесины.

Ключевые слова: композиционные материалы, столярно-строительные изделия, конструктивные элементы мебели, фанера, шпон.

Для цитирования: Игнатович Л. В., Лосик Е. А. Конструктивные и технологические особенности древесных композиционных материалов из шпона при производстве столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 152–165. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-18.

L. V. Ignatovich, E. A. Losik

Belarusian State Technological University

**STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF WOOD COMPOSITE
MATERIALS FROM VENEER IN THE PRODUCTION OF JOINERY
AND CONSTRUCTION PRODUCTS AND STRUCTURAL FURNITURE
ELEMENTS (REVIEW)**

The urgent tasks of the modern woodworking industry are: diversification of the production of wood composite materials based on veneer; expansion of the variety of furniture and joinery products that can compete on the world market; equipping enterprises with modern equipment that allows them to quickly change the range of products; expansion of the use of innovative technologies and environmentally friendly materials.

The article considers the issue of effective use of softwood wood for the production of wood composite materials based on veneer.

The analysis of scientific and technical literature has shown that currently in the woodworking industry there is an increase in the production of wood composite materials, joinery and metal products based on them.

This article evaluates the effectiveness of the use of composite materials from softwood veneer at woodworking enterprises of the Republic of Belarus as an alternative material to solid wood of hardwood species. Trends in the increase in the production of veneer and composite materials based on it have

been noted; an increase in the production of structural elements of furniture and joinery products was recorded; the materials used were compared.

The analysis of scientific and technical literature allowed us to offer a number of recommendations in the following areas: 1) improvement of manufactured joinery and construction products and structural elements of furniture based on environmentally friendly materials; 2) reduction of the share of the use of hardwoods.

Keywords: composite materials, joinery and construction products, structural elements of furniture, plywood, veneer.

For citation: Ignatovich L. V., Losik E. A. Structural and technological features of wood composite materials from veneer in the production of joinery and construction products and structural furniture elements (review). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (270), pp. 152–165. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-18 (In Russian).

Введение. В настоящее время основной задачей лесной и деревоперерабатывающей промышленности является рациональное использование лесосырьевых ресурсов и производство экологически безопасной и конкурентоспособной продукции.

В Республике Беларусь ценные твердолиственные породы составляют около 4% от основных лесообразующих пород, хвойные – 58,5%, в то же время доля малоценных пород составляет примерно 37%, в том числе: березы – 23,3%, ольхи – 10,8%, осины – 2,6% (статистические данные Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь по состоянию на 1 января 2022 г). Анализ статистических данных позволил заключить, что при общей заготовке древесины примерно 21,9 млн. м³ в год для производства древесных композиционных материалов из шпона, изделий мебели и столярно-строительных изделий ее не хватает, особенно ценных твердолиственных пород [1].

В табл. 1 представлена динамика производства шпона и древесных композиционных материалов на его основе за 2017–2021 годы [2].

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод, что за период с 2017 по 2021 г. производство шпона лущеного и древесных композиционных материалов на его основе (фанера, многослойные панели или плиты паркетные собранные) в целом имеет положительную динамику.

Динамика производства и потребления продукции из шпона имеет обратную зависимость

с количеством запасаемой древесины и материальным состоянием населения. Сокращению производства строганого шпона способствуют небольшие запасы древесины твердолиственных пород и его высокая стоимость.

В табл. 2 представлен баланс товарных ресурсов композиционных материалов (фанеры) Республики Беларусь в натуральном выражении, которые отражают движение товара (фанерной продукции) от момента производства до момента конечного его использования [3].

Товарный баланс фанерной продукции составляется для анализа объемов поступившей продукции на склад предприятия, объемов ее реализации и наличия остатков на начало и конец периода, а также выявления потерь и излишков продукции. На основании приведенных данных баланса товарных ресурсов можно определить скорость товарооборота фанеры за прошлый и отчетный годы, отклонения и темпы роста, эффективность использования имеющегося баланса товарных ресурсов композиционных материалов (фанеры) с целью разработки инновационных технологий их производства.

Анализируя показатели баланса товарных ресурсов фанеры (табл. 2), можно сделать заключение, что рынок фанерной продукции характеризуется постоянным ростом объемов производств. Тем не менее, в 2021 г. наблюдалось снижение импорта фанеры и рост экспорта [4–6].

На рис. 1 показана диаграмма объема производства мебели в 2017–2021 гг. (в млрд BYN).

Таблица 1

Динамика производства шпона и древесных композиционных материалов на его основе за 2017–2021 гг.

Изделия (материал)	Единицы измерения	Динамика производства материалов				
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Фанера	тыс. м ³	258,2	296,8	299,9	343,2	385,0
Шпон лущеный	м ³	5743	8026	6953	5944	11 215
Шпон строганый	тыс. м ²	2373	2277	1781	1519	1390
Многослойные панели и плиты паркетные собранные	тыс. м ²	606,4	700,9	848,0	916,8	1088,4

Таблица 2

Баланс товарных ресурсов композиционных материалов – фанеры

Баланс товарных ресурсов	Единицы измерения	Объемы реализации и наличие остатков				
		2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Ресурсы материалов						
Запасы на начало года	м ³	24 649	28 877	47 960	59 212	49 080
Производство		158 155	296 764	299 898	343 240	385 010
Импорт		22 847	35 473	44 019	50 395	46 983
Страны СНГ		20 515	34 151	40 791	49 024	45 225
Страны вне СНГ		2332	1322	3228	1371	1758
Итого ресурсов		305 651	361 114	391 877	452 847	481 073
Использование						
Потреблено в республике	м ³	56 910	70 810	79 195	72 075	49 718
Экспорт		219 864	242 344	253 470	331 692	377 520
Страны СНГ		40 440	38 461	57 545	81 241	76 285
Страны вне СНГ		179 424	203 883	195 925	250 451	301 235
Запасы на конец года		28 877	47 960	59 212	49 080	53 835

Как показано на диаграмме, объем производства мебельной продукции в 2021 г. зафиксирован на уровне 2,7 млрд руб., что составляет 1,4% ВВП страны. В среднем за 2017–2021 гг. объем производства мебели в Беларуси увеличился на 26,5% ежегодно [7, 8].

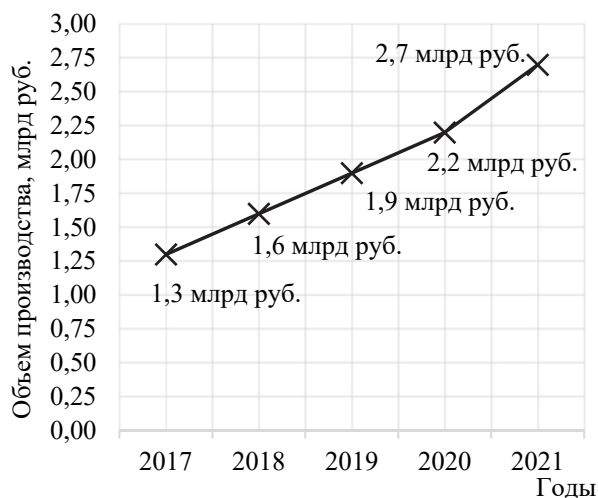


Рис. 1. Диаграмма объема производства мебели в 2017–2021 гг.

Вышесказанное предопределяет, что основной задачей деревообрабатывающей промышленности по производству древесных композиционных материалов из шпона и изделий из них является диверсификация производства – расширение ассортимента конкурентоспособных изделий, которые могли бы конкурировать на мировом рынке, внедрение инновационных технологий, оснащение предприятий новым специализированным оборудованием, позволяющим оперативно менять ассортимент изделий с использованием современных экологически чистых материалов. Именно от степени инновационности,

т. е. способности использовать те или иные технические новинки и новые методы производства изделий из древесины, зависит экономическая эффективность и конкурентоспособность предприятий и отраслей экономики в целом [9].

Целью данного обзорно-аналитического исследования являлась необходимость всестороннего анализа наиболее важных перспективных направлений развития производства древесных композиционных материалов из шпона при производстве столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели в Республике Беларусь. Для достижения цели исследования была поставлена следующая задача: обосновать необходимость совершенствования производственной деятельности предприятий деревообрабатывающей промышленности по производству древесных композиционных материалов из шпона с целью расширения ассортимента конкурентоспособных изделий.

Основная часть. Древесные композиционные материалы занимают существенное место в общей структуре лесопромышленного комплекса, обеспечивая потребности мебельного и столярно-строительного производств. По масштабам производства и применения на одном из первых мест среди других древесных композиционных материалов находятся фанера и фанерные плиты. Производство фанеры является рентабельным и быстро окупаемым. Современные технологии позволяют производить данный вид продукции и изделия из нее высокого качества из доступного сырья (мягколиственных и хвойных пород древесины) [10, 11].

Фанера представляет собой материал из нескольких слоев шпона (три и более), склеенных между собой. Чаще всего для производства фанеры используется древесина березы, которая обладает равномерной плотностью и высокой

прочностью, что способствует получению качественного шпона. Предел прочности шпона при растяжении вдоль волокон, например из древесины березы – 153 МПа, ольхи – 93,2 МПа, сосны – 70,6 МПа, лиственницы – 69,9 МПа [12–16].

Как видим, наиболее высокий предел прочности шпона при растяжении вдоль волокон имеет шпон из древесины березы, чем и объясняются лучшие механические свойства клееной фанеры из березового шпона. Прочность шпона из древесины ольхи в 1,5 раза, а шпона из хвойных пород в 2,0 раза меньше, чем березового. Древесина хвойных пород используется реже, так как содержащаяся в ней смола затрудняет получение качественного шпона. На рис. 2 показаны образцы фанеры разной слоистости, т. е. состоящей из разного количества листов березового шпона.



Рис. 2. Образцы фанеры разной слоистости из березового шпона

Фанера сочетает в себе высокую прочность, стойкость к деформации и растрескиванию вдоль волокон. Размеры фанерного листа варьируют, что способствует подбору оптимального варианта и минимизации отходов материала при использовании. Однако этот материал имеет сравнительно низкую устойчивость к деструктивному воздействию влаги, а также ограниченность в теплообережении. Постоянный контакт фанеры с влагой может повлечь за собой потерю изначальной

формы (изменение геометрии и разбухание). Исследования показывают, что фанера, фанерные плиты имеют высокие физико-механические свойства. Например: прочность при изгибе составляет 25 МПа, прочность при растяжении вдоль волокон 30 МПа. В табл. 3 представлены основные физико-механические свойства фанеры [12–18].

Из фанеры изготавливают декоративные элементы мебели; задние стенки и полки шкафов и тумб; задние стенки, стенки боковин, выдвигаемые ящики и донья мягкой мебели; спинки кроватей; перегородки, стеновые панели; многослойные паркетные изделия; гнукотклеенные детали с внешними слоями из строганого шпона [19].

В последние годы отдается предпочтение многослойным паркетным изделиям и стеновым панелям из композиционных материалов на основе фанеры.

В качестве основного сырья для изготовления, например, паркетных изделий и стеновых панелей, как альтернатива классическим технологиям и конструкциям, предлагается использование лущеного шпона мягколиственных пород древесины, которые, как известно, не обладают высокими физико-механическими свойствами и красивой текстурой, но хорошо поддаются модификации, термомодификации (уплотнению) и окрашиванию [20, 21].

Технология изготовления многослойных паркетных изделий и стеновых панелей из шпона может быть следующей [22, 23]: раскрой лущеного шпона мягких лиственных пород (березы, осины, ольхи) на заготовки необходимого размера; сквозное окрашивание полученных листов лущеного шпона (если есть необходимость создавать цветовую гамму); подбор листов шпона в композицию; нанесение клевого водостойкого состава; набор листов шпона в пакеты и подпрессовка пакетов перед склеиванием; прессование (склеивание блока необходимой толщины) под высоким давлением в прессе; обработка (раскрой) на детали необходимого размера.

Таблица 3

Физико-механические свойства фанеры из шпона древесины березы

Наименование показателя	Толщина, мм	Марка	Значение физико-механических показателей
Влажность фанеры	3–30	ФСК, ФК	5–10%
Предел прочности при статическом изгибе вдоль волокон наружных слоев	7–30		Не менее 25 МПа
Предел прочности при растяжении вдоль волокон	3–6,5		Не менее 30 МПа
Твердость	9–30		20 МПа
Звукоизоляция	6,5–30		23 дБ
Биологическая стойкость, класс опасности	3–30		5 fDa, St

На рис. 3 показана схема изготовления клееных композиционных материалов и фрагмент клееного блока из шпона для паркетных изделий и стеновых панелей покрытия с лицевым слоем сложного рисунка.

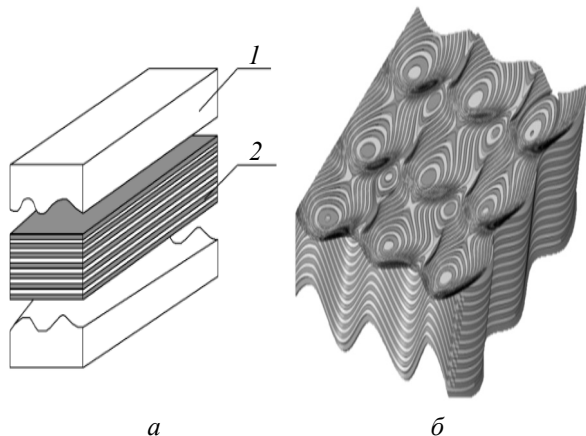


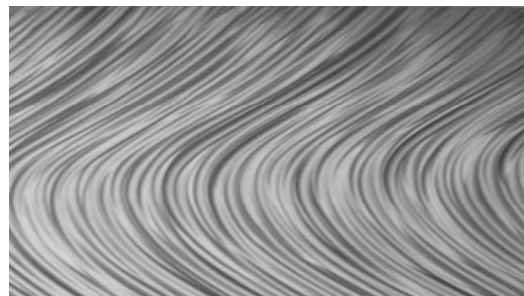
Рис. 3. Схема прессования блока шпона в шаблоне с волнистой поверхностью (а) и фрагмент клееного блока из шпона с лицевым слоем сложного рисунка (б): 1 – пресс-форма; 2 – клееный блок из шпона

Для получения клееного блока для данных изделий, лущеный шпон с нанесенным клеем помещают в специализированную оснастку – пресс-форму под высоким давлением. Шаблон для прессования может иметь в сечении (перпендикулярном направлению длины волокон древесины листов шпона) волнистую поверхность, благодаря чему заготовки приобретают волнистую форму вдоль волокон. Используя при прессовании блока шаблоны различной конструкции, можно получать клееный монолитный блок, в объемной структуре которого слои шпона изогнуты в соответствии с заданной формой. Толщина блока может быть равной толщине готового клееного композиционного материала. По сравнению с обычными изделиями на основе клееной фанеры данный материал обладает рядом неоспоримых преимуществ за счет уплотнения слоев шпона: высокой прочностью, влагостойкостью, твердостью, износостойкостью, позволяющих получать изделия, удовлетворяющие требованиям СТБ и имеющие возможностью использования не только в столярном производстве, но и в широком спектре общестроительных направлений [24].

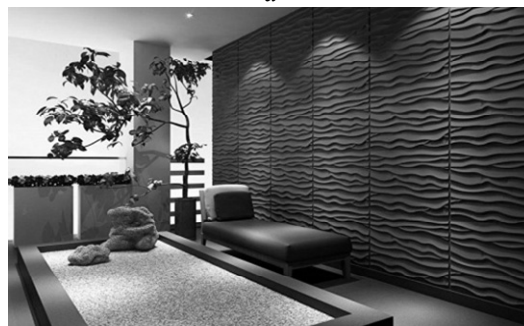
На рис. 4 показан фрагмент стеновых панелей (выполненных по вышеописанной технологии изготовления клееного блока из шпона) для внутренней отделки и интерьер жилого помещения с отделкой стен из данного материала.

Дизайнеры все чаще используют фанеру в качестве декоративного материала. Универсальность применения и декоративные свойства фа-

неры позволяют использовать ее в отделке помещений в виде стеновых панелей (рис. 4, б), перегородок и создании элементов декора, а натуральность и относительно невысокая цена способствуют популярности использования фанеры при создании экоинтерьеров.



а



б

Рис. 4. Фрагмент стеновых панелей из фанеры (клееного блока из шпона) для внутренней отделки (а) и интерьер жилого помещения (б)

Отдельную нишу применения древесных композиционных материалов из шпона в строительстве занимает ЛВЛ-брус (*LVL*). Аббревиатура ЛВЛ происходит от английского *Laminated Veneer Lumber* – пиломатериал из слоеного шпона [25].

Инновационная технология в области деревообрабатывающей промышленности в настоящее время позволяет получать конструкционные композиционные материалы, технические характеристики которых значительно превосходят параметры цельного (массив древесины) бруса, клееной древесины из пиломатериалов высокого класса. Новый конструкционный материал ЛВЛ-брус – это разновидность клееного композиционного материала, получаемого путем склеивания листов однонаправленного лущеного шпона хвойных пород толщиной порядка 3 мм. Волокна древесины шпона смежных слоев располагаются параллельно, что делает материал однородным, практически монолитным и придает ему более высокие эксплуатационные свойства даже по сравнению с клееным брусом из пиломатериалов. Прочность ЛВЛ-бруса в 1,5–3,0 раза выше, чем у традиционного строительного бруса [26, 27].

ЛВЛ-брус обладает исключительными по своим свойствам прочностными характеристиками: модуль упругости (жесткости) у ЛВЛ-бруса на 24%, а прочность при изгибе и на излом в 2 раза выше, чем у древесины хвойных пород (например, ели). Эти физико-механические показатели обеспечивают высокую несущую способность при меньших размерах в поперечном сечении, что в свою очередь существенно снижает общий объем необходимых пиломатериалов, повышает износостойкость и физико-механические показатели (по сопротивлению изгибу и растяжению вдоль волокон он почти в 2 раза превосходит массивный брус).

Благодаря своей слоистой структуре и технологии производства ЛВЛ-брус является полностью однородным с неизменными механическими характеристиками по всей длине и обладает постоянными физическими свойствами, способен сохранять точные линейные размеры, не зависящие от сезонных факторов. Уплотнение слоев шпона посредством прессования под высоким давлением также способствует улучшению физико-механических показателей и стабильности геометрических форм [26–29].

ЛВЛ-брус применяется для изготовления несущих балок для нижних, межэтажных и верхних перекрытий, в несущих и ненесущих конструкциях стен, в проемах, а также как опоры и ребра жесткости.

На рис. 5 показан фрагмент ЛВЛ-бруса и строительного портала из такого бруса (балки межэтажного перекрытия).

Существует 4 типа ЛВЛ-бруса: *Rs*, *R*, *X*, *I*. Типы *Rs* и *R* применяются преимущественно в несущих конструкциях; *X* в несущих и ограждающих конструкциях; *I* в ограждающих конструкциях, в том числе как заготовки для изготовления элементов межкомнатных дверных блоков и конструкционных элементов мебельных изделий. В табл. 4 приведены физико-механические показатели ЛВЛ-бруса различного назначения [30].

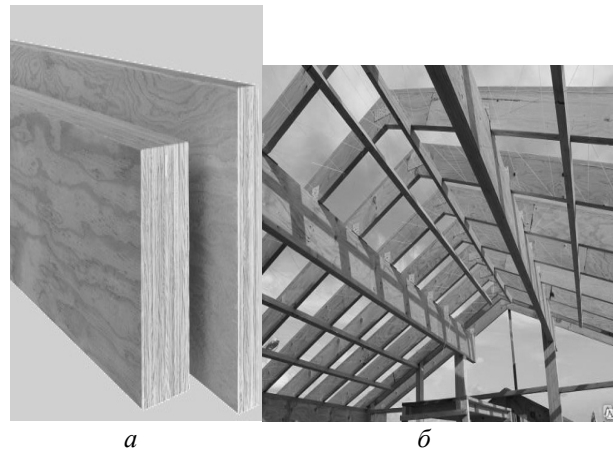


Рис. 5. Фрагмент ЛВЛ-бруса (а) и строительного портала из него (б)

Тем не менее, наряду с высокими положительными качествами, ЛВЛ-брус имеет и недостатки, например высокую стоимость (54 руб/м³ – ЛВЛ-брус; 30 руб/м³ – клееный брус), токсичность, связанную с наличием в технологическом составе легирующих добавок на основе формальдегида, который входит в состав клевого материала.

Еще одно из направлений широкого применения клееных композиционных материалов (строительной фанеры) – клефанерные деревянные конструкции двутаврового и коробчатого сечения: балочные, арочные, рамные, сетчатые и щитовые. Клефанерные изделия являются наиболее эффективным и перспективным видом ограждающих конструкций.

В данных конструкциях применяют водостойкую строительную фанеру с плотностью $\rho = 700\text{--}800 \text{ кг/м}^3$, склеенную с применением водостойких клеев, или бакелизованную совершенно водостойкую фанеру с объемным весом $\rho = 900\text{--}1150 \text{ кг/м}^3$, склеенную из слоев шпона, частично или полностью пропитанных клеями, например феноло-формальдегидными, под давлением в прессе $p = 30\text{--}35 \text{ кг/см}^2$ [31].

Таблица 4

Физико-механические показатели ЛВЛ-бруса для несущих, ограждающих конструкций, элементов дверных блоков и мебели

Физико-механические показатели	Расчетное сопротивление при разном направлении волокон	Типы ЛВЛ-бруса			
		<i>Rs</i>	<i>R</i>	<i>X</i>	<i>I</i>
Сопротивление сжатию	Вдоль волокон, МПа	25,7	23,6	19,8	22,1
	Поперек волокон (ребро), МПа	4,3	3,5	6,8	3,8
	Поперек волокон (пласть), МПа	1,9	1,7	1,9	1,7
Сопротивление растяжению	Вдоль волокон, МПа	26,9	22,5	17,5	16,9
	Поперек волокон, МПа	–	0,7	–	–
Сопротивление изгибу	Вдоль волокон (ребро), МПа	27,3	26,8	19,6	22,7
	Вдоль волокон (пласть), МПа	35,5	27,8	24,1	22,9
Сопротивление скалыванию	Вдоль волокон, МПа	–	2,6	2,6	–
	Поперек волокон, МПа	–	1,1	1,1	–

Предел прочности на срез поперек волокон наружного шпона для березовой водостойкой строительной фанеры равен 114,71 МПа, а на растяжение вдоль волокон – 62,8–73,6 МПа. Модуль упругости для строительной фанеры может колебаться в пределах от 80 000 до 120 000 кг/см² [32, 33].

По форме сечения клеефанерные изделия – балки могут быть коробчатыми, двутавровыми, двутаврово-коробчатыми (склеенными из двух или нескольких двутавров), треугольными, трапециевидными.

Наибольшее распространение в строительстве в качестве ограждающих конструкций из клееных древесных композиционных материалов получили коробчатые, двутавровые, двутаврово-коробчатые виды клеефанерных балок [34], изображенных на рис. 6.

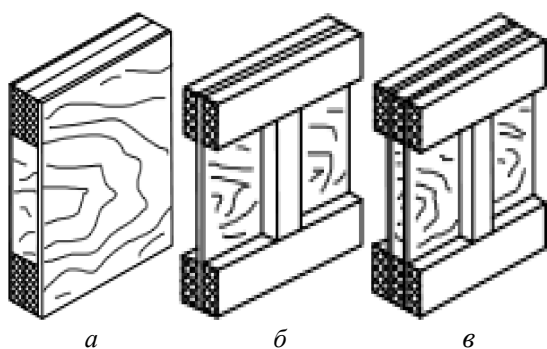


Рис. 6. Сечения клеефанерных балок:

а – коробчатое сечение; *б* – двутавровое сечение; *в* – двутаврово-коробчатое сечение

Использование этих балок позволяет снизить массу деревянных конструкций. Традиционно клеефанерные балки состоят из дощатых поясов и фанерных стенок. При производстве клеефанерной балки с прямолинейной стенкой пояса балок могут выполняться из цельной или клееной древесины, а также из ЛВЛ-бруса. Стенки изготавливаются из фанеры или плитных материалов на основе древесины: ДВП (древесноволокнистые плиты), ОСП (ориентированно-стружечные плиты) и др. К достоинствам таких балок можно отнести малую массу, минимальный расход материала, высокую несущую способность, возможность поточного производства, легкость монтажа и транспортировки [35–38].

Также следует отметить, что в деревообрабатывающей отрасли наиболее интересный сегмент занимает мебельное производство, наибольшая добавленная стоимость которого иногда может в десятки раз превышать добавленную стоимость производства композиционных плитных материалов. Известно, что при производстве мебели максимально перерабатывается древес-

ное сырье, и поэтому готовая продукция имеет высокую добавленную стоимость [9].

Таким образом, основными задачами мебельного производства Республики Беларусь, являются снижение материалоемкости и импортоемкости изделий, повышение качества выпускаемой продукции, расширение ассортимента, изменение вида продукции, а также освоение продукции на основе новых экологических материалов.

Ассортиментная программа выпуска мебели предусматривает производство как простой мебели, так и высокохудожественных экономически эффективных конкурентоспособных изделий [9].

Одним из направлений диверсификации, т. е. расширения ассортимента конструктивных элементов мебели на основе освоения новых видов материалов, является применение древесных композиционных материалов из шпона.

Современный рынок мебели отличается большим разнообразием продукции, чему способствует широкий ассортимент материалов, и трудно сказать, какой материал будет популярен в будущем, очевидно лишь то, что мебель из экологически чистых материалов всегда будет в тренде, и одним из таких материалов являются древесные композиционные материалы из шпона, например фанера, гнуклеенные элементы мебельных изделий из шпона [39].

В современном направлении дизайнерских решений при разработке конструкций мебели и ее конструктивных элементов наметилась тенденция применения композиционных материалов – гнуклееной фанеры. Наиболее широкое распространение она получила в производстве радиусных деталей фасадов корпусной, мягкой и детской мебели, криволинейных карнизов, предметов декора, при оформлении интерьера жилых и общественных помещений; в качестве малых архитектурных форм и т. п.

Гнуклеенные заготовки представляют собой слоистый материал из шпона, которому в процессе склеивания придается требуемую форму. Для повышения эстетических качеств изделий заготовки нередко облицовывают строганым шпоном древесины твердолиственных, ценных пород [40].

Благодаря эластичности, прочности и легкости в обработке этот материал (гнуклеенные заготовки) очень удобен для создания предметов мебели самых немыслимых и оригинальных форм. Достоинство его – отсутствие соединений в узлах, что повышает долговечность изделий в целом.

При конструировании гнуклеенных радиусных элементов мебели сложного дизайна необходимо знать, какую предельную кривизну можно

придавать отдельным слоям шпона, не вызывая разрушения или появления заметных трещин. Допустимые соотношения H/R (где H – толщина изгибаемой пластины, R – внутренний радиус) при гнутье в пресс-формах составляют не более: для березы – $1/60$; ели – $1/57$; бука – $1/46$; вяза – $1/31$.

Для изготовления гнutoкленных заготовок применяют лущеный шпон преимущественно из древесины березы, ольхи и других лиственных пород, реже – из древесины хвойных пород.

Толщина шпона зависит от сложности профиля, конструкции пакета, углов и радиусов изгиба и составляет $0,8-2,2$ мм. Своими специфическими свойствами гнutoкленная фанера обязана особому строению слоев, имеющих перекрестное или прямолинейное расположение волокон.

В табл. 5 приведены возможно минимальные радиусы кривизны гнutoкленных элементов из шпона при прессовании пакета в пресс-форме [41, 42].

На рис. 7 показан пресс для изготовления гнutoкленных изделий и схема гнутья слоев шпона (блока шпона толщиной $h = 16-18$ мм), радиусом 90° для изготовления гнutoкленных конструктивных элементов [43, 44].

Гнutoкленные заготовки изготавливают в прессах, оборудованных пресс-формами, состоящими из пуансона и матрицы. Промазанные клеем пакеты шпона определенной толщины помещаются в пресс-форму (рис. 7, б), закрепленную в станке (рис. 7, а). Затем в прессе заготовку изгибают на заданный контур, как правило, изгибают одновременно несколько заготовок (кратных по толщине).

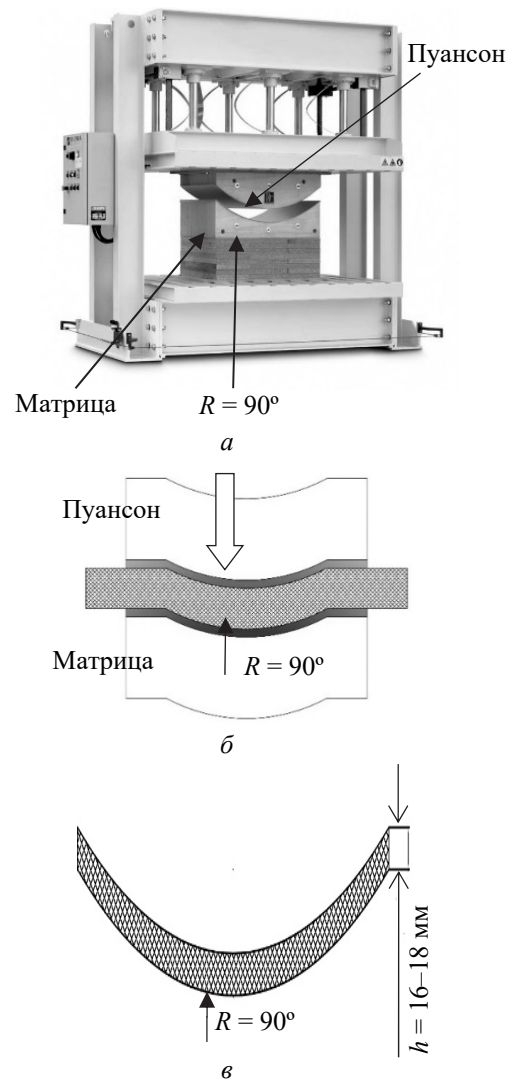


Рис. 7. Оборудование и схема гнутья: а – пресс; б – пресс-форма; в – схема прессования

Таблица 5

Радиусы изгиба пакетов шпона в пресс-форме

Толщина шпона, мм	Количество слоев шпона в пакетах	Толщина заготовки, мм	Угол изгиба пакета шпона, град, при допустимом минимальном радиусе изгиба, мм					
			60			90		
			Параллельное расположение волокон			Перекрестное расположение волокон		
0,8	5	4	14	12	7	6	15	8
	9	7	11	10	6	14	13	7
	13	10	10	8	5	11	10	6
1,15	5	6	35	27	14	34	33	16
	9	11	28	20	11	33	32	13
	13	16	20	19	6	27	26	6
1,5	5	7	37	36	29	37	37	33
	9	13	30	29	23	31	31	28
	13	19	23	22	16	25	24	20
2,2	5	11	40	40	30	–	42	41
	9	20	–	30	22	–	311	30
	13	29	–	20	13	–	20	19

При склеивании в прессе пакет деформируется и приобретает форму заготовки, которая закрепляется в результате отверждения клея и уменьшения влажности пакета. Согнутые заготовки поступают на сушку с целью стабилизации формы. После стабилизации отклонение размеров гнутых заготовок от первоначальных может составлять ± 3 мм. Далее заготовки обрабатывают [45, 46].

На рис. 8 представлены примеры гнутоклеевых изделий, имеющих оригинальное конструктивное решение сложных радиусных форм.

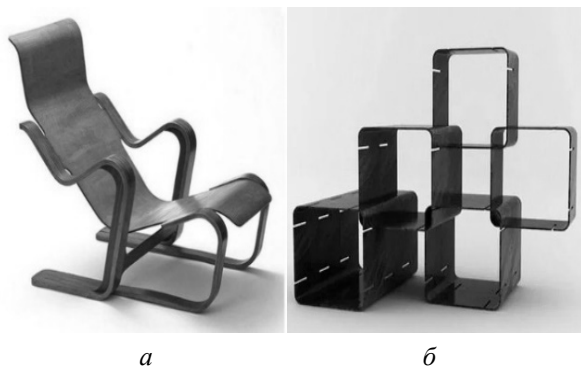


Рис. 8. Примеры гнутоклеевых изделий:
а – кресло; б – стеллаж

На рис. 8, а продемонстрировано кресло, имеющее цельное сиденье и спинку изготовленные из гнутоклеевой пятислойной фанеры. Каркасная конструкция состоит из двух вертикальных стоек из десяти слоев фанеры, поддерживающих руки, и горизонтальной стойки, укрепляющей ноги кресла [47].

На рис. 8, б изображена модульная кубическая система хранения, изготовленная из гнутоклеевой фанеры, легко собираемая и разбираемая благодаря прорезям и подходящая для создания книжных стеллажей, тумб под телевизор, перегородок и т. п. [48].

Вышесказанное позволяет сделать вывод, что производство гнутоклеевых заготовок и изделий мебели из древесных композиционных материалов на основе шпона – это практичное и экономически выгодное решение по сравнению с производством из натуральной древесины. Расход сухого шпона на 1 м^3 гнутоклеевых деталей из него составляет $1,9\text{--}3 \text{ м}^3$, а расход древесины на изготовление стolarных деталей сложного профиля достигает 5 м^3 . Однако трудозатраты на изготовление гнутоклеевых заготовок по сравнению с производством заготовок из древесины увеличиваются на 25–35%, но это компенсируется увеличением себестоимости продукции из композиционных материалов на 20–30% [49, 50].

Заключение. На основании выполненного обзорно-аналитического исследования:

- установлено, что в конструктивных и технологических особенностях стolarно-строительных изделий и элементов мебели наметилась тенденция к расширению применения клееных композиционных материалов на основе шпона хвойных и мягких лиственных пород древесины;

- определено, что наибольшие изменения в технологии производства древесных композиционных материалов из шпона произошли в процессе изготовления стolarно-строительных изделий;

- выявлено недостаточное использование хвойных и мягких лиственных пород древесины для изготовления стolarно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели.

Таким образом, применение композиционных материалов при производстве конструктивных деталей мебели и стolarно-строительных изделий позволит снизить расход круглых лесоматериалов примерно в 1,5 раза и сократить трудозатраты не менее чем на 20%.

Список литературы

1. Породный состав лесов // М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. URL: <https://www.mlh.by/our-main-activities/forestry/forests/> (дата обращения 15.02.2023).
2. Промышленность Республики Беларусь // Национальный статистический комитет Респ. Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/b96/pj4tqx1ai2cs190nqwjp9xjp3acglx4j.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).
3. Балансы товарных ресурсов Республики Беларусь // Национальный статистический комитет Респ. Беларусь. URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/1c2/60efc3xfmbeokk3cvb9nnw19wn3nqzsz.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).
4. Тулейко В. В., Игнатович Л. В. Особенности внешнеэкономической деятельности деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь // Технология и техника лесной промышленности: тез. докл. 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 3 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 133–134.
5. Анализ возможности применения в производстве изделий из древесины энергосберегающих и экологически безопасных технологий / А. С. Чуйков [и др.] // Технология и техника лесной промышленности: тез. докл. 86-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 8 февр. 2022 г. Минск, 2022. С. 189–192.

6. Технология виртуальной и дополненной реальности для пространственного представления и обеспечения конкурентоспособности продукции деревообрабатывающих предприятий / А. С. Чуйков [и др.] // Строительство: технологии и оборудование: Ярмарка инновационных разработок. Минск, 18 марта 2021 г. Минск, 2021. С. 12–13.
7. Обзор рынка офисной мебели Республики Беларусь // Мебелинк. URL: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/02/obzor-rynka-ofisnoj-mebeli.pdf> (дата обращения: 15.02.2023).
8. Объем производства мебели // Thinktanks. URL: <https://thinktanks.by/publication/2022/02/23/emkost-belorusskogo-rynka-ofisnoy-mebeli-budet-rasti.html> (дата обращения: 15.02.2023).
9. Программа развития деревообрабатывающего и мебельного производства концерна «Беллесбумпром» на период до 2025 года / Белорус. производ.-торговый концерн лесной, деревообраб. и целлюлоз.-бумаж. пром-сти. Минск, 2020. 70 с.
10. Батаев А. А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. М.: Логос, 2006. 398 с.
11. Худяков В. А. Современные композиционные строительные материалы. Ростов-н/Д: Феникс, 2007. 220 с.
12. Шпон лущеный. Технические требования: ГОСТ 99–2016. М.: Стандартиформ, 2018. 12 с.
13. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.1–2018. М.: Стандартиформ, 2019. 25 с.
14. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.2–2018. М.: Стандартиформ, 2019. 28 с.
15. Шпон лущеный. Методы испытаний: ГОСТ 20800–75. М.: Стандартиформ, 1976. 7 с.
16. Древесина слоистая клееная. Методы определения предела прочности и модуля упругости при растяжении: ГОСТ 9622–2016. М.: Стандартиформ, 2018. 10 с.
17. Игнатович Л. В., Скроцкий А. И. Повышение экологических характеристик древесных композиционных материалов путем совершенствования рецептуры клеевой композиции // Технология и техника лесной промышленности: тез. докл. 83-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–14 февр. 2019 г. Минск, 2019. С. 78–79.
18. Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Коробко Е. В. Конструктивные особенности столярно-строительных изделий на основе фанеры повышенной водостойкости // Технология и техника лесной промышленности: тез. докл. 82-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–14 февр. 2018 г. Минск, 2019. С. 44.
19. Игнатович Л. В., Шетько С. В., Скроцкий А. И. Комплексное и рациональное использование шпона в производстве столярно-строительных изделий // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 1. С. 54–58.
20. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. М.: ИНФРА-М, 2022. 242 с. DOI: 10.12737/1030852.
21. Технология изделий из древесины / А. А. Барташевич [и др.]. М.: ИНФРА-М, 2020. 437 с.
22. Барташевич А. А., Игнатович Л. В. Материалы деревообрабатывающих производств. М.: ИНФРА-М, 2020. 307 с.
23. Игнатович Л. В. Изготовление многослойных паркетных досок с лицевым слоем из уплотненного шпона // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 22–25 сент. 2015 г. Екатеринбург, 2015. С. 41–46.
24. Игнатович Л. В. Способ изготовления паркетных изделий из шпона с заданным рисунком лицевого слоя // Труды БГТУ. 2015. №2: Лесная и деревообраб. пром-ть. С. 94–100.
25. Пшенов А. А., Твердохлебова С. С. Что такое ЛВЛ-брус? // Современные научные исследования и инновации. 2012. № 5. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2012/05/12341> (дата обращения: 24.02.2023).
26. Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия: ГОСТ 33124–2014. М.: Стандартиформ, 2015. 18 с.
27. Коротков Л. И. Испытание изгибаемых элементов из клееного деревянного шпона на воздействие статической и переменной пульсирующей нагрузок // Науч. тр. ОАО ЦНИИС. 2007. Вып. 240: Науч. проблемы мостостроения. С. 22–26.
28. Коротков Л. И. Работа на выносливость изгибаемых образцов из клееного бруса // Науч. тр. ОАО ЦНИИС. 2008. Вып. 247: Науч. проблемы мостостроения. С. 20–24.
29. Коротков Л. И. Брус клееный из деревянного шпона // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. № 6 (185). С. 38–41.
30. ЛВЛ-брус // Ultralam. URL: <https://ultralam.com/ru/> (дата обращения: 15.02.2023).

31. Фанера бакелизированная. Технические условия: ГОСТ 11539–2014. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с.
32. Клеефанерные деревянные конструкции // Tehlib. URL: <https://tehlib.com/stroitel-ny-e-materialy/derevyanny-e-materialy-i-izdeliya/kleefanerny-e-derevyanny-e-konstruktsii/> (дата обращения: 15.02.2023).
33. Балки перекрытий деревянные. Технические условия: ГОСТ 4981–87. М.: Стандартинформ, 1988. 6 с.
34. Клеефанерные балки // Masterbetonov. URL: <http://www.masterbetonov.ru/content/view/17992/341> (дата обращения: 15.02.2023).
35. Житушкин В. Г. Клеефанерные конструкции. М.: АСВ, 2011. 200 с.
36. Малыхина В. С., Фролов Н. В., Фам С. Х. Особенности конструирования и расчета фанерных клееных балок // Вестн. Белгород. гос. технол. ун-та им. В. Г. Шухова. 2016. № 4. С. 32–37.
37. Пинчук Е. А. К вопросу прочности фанерных стенок деревофанерных балок переменной высоты // Строительство и техногенная безопасность. 2012. № 44. С. 45–53.
38. Гнуктоклееные балки // Garden-house.ru. URL: <https://garden-house.ru/articles/gde-primenyayut-ikak-proizvodyat-gnutye-balki-iz-kleenogo-brusa/> (дата обращения: 15.02.2023).
39. Овсянников С. И., Богданов И. И., Федоренко А. В. Экологические аспекты деревянного домостроения // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химикотехнологические процессы защиты окружающей среды: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Белгород, 24–25 нояб. 2015 г. Белгород, 2015. Ч. II. С. 236–242.
40. Заготовки гнуктоклееные. Технические условия: ГОСТ 21178–75. М.: Стандартинформ, 2006. 12 с.
41. Склеивание шпона в технологии гнуктоклееных заготовок // Studref. URL: https://studref.com/556576/agropromyshlennost/skleivanie_shpona_tehnologii_gnutokleenyh_zagotovok (дата обращения: 15.02.2023).
42. Технология склеивания заготовок // Mebel.townevolution. URL: <http://mebel.townevolution.ru/books/item/f00/s00/z0000001/st021.shtml> (дата обращения: 15.02.2023).
43. Технология производства мебели / С. В. Шетько [и др.] Минск: РИПО, 2021. 355 с.
44. Чуйков А. С., Игнатович Л. В., Тулейко В. В. Использование аддитивных технологий для производства декоративных элементов мебели // Технология и техника лесной промышленности: тез. докл. 85-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 3 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 116–117.
45. Барташевич А. А. Технология производства мебели. Ростов-н/Д: Феникс, 2003. 480 с.
46. Декорирование элементов мебели и столярно-строительных изделий методом тиснения текстуры древесины и имитацией резьбы / А. А. Барташевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 1. С. 197–204.
47. Кресло Марселя Брейера // Designindex. URL: <https://www.designindex.org/index/design/short-chair.html> (дата обращения: 15.02.2023).
48. Модульные системы хранения // Vurni. URL: <https://vurni.com/modular-storage-cube-systems/> (дата обращения: 15.02.2023).
49. Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1. С. 156–161.
50. Чуйков А. С., Игнатович Л. В., Куневич В. О. Особенности иммерсивных технологий, применяемых при проектировании // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1. С. 174–180.

References

1. Species composition of forests. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
2. Industry of the Republic of Belfrus. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
3. Balances of commodity resources of the Republic of Belarus. Available at: <https://www.mlh.by/our-main-activites/forestry/forests/> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
4. Tuleyko V. V., Ignatovych L. V. Features of the foreign economic activity of the woodworking industry of the Republic of Belarus. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: tezisy dokladov 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of the Forestry Industry: abstracts of the 85th scientific and technical conference of the teaching staff, researches and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 133–134 (In Russian).

5. Chuikov A. S., Ignatovich L. V., Rudak O. G., Gordievich E. I. Analysis of the possibility of applying energy-saving and environmentally friendly technologies in the production of wood products. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: tezisy dokladov 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of the Forestry Industry: abstracts of the 86th scientific and technical conference of the teaching staff, researches and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2022, pp. 189–192 (In Russian).
6. Chuikov A. S., Shetko S. V., Ignatovich L. V., Kunevich V. O. Technology of virtual and augmented reality for spatial representation and ensuring competitiveness of products of woodworking enterprises. *Stroitel'stvo: tekhnologii i oborudovaniye. Yarmarka innovatsionnykh razrabotok* [Construction: Technologies and Equipment: Fair of innovative developments]. Minsk, 2021, pp. 12–13 (In Russian).
7. Overview of the office furniture market of the Republic of Belarus. Available at: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/02/obzor-rynka-ofisnoj-mebeli.pdf> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
8. Volume of furniture production. Available at: <https://thinktanks.by/publication/2022/02/23/emkost-beloruskogo-rynka-ofisnoj-mebeli-budet-rasti.html> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
9. *Programma razvitiya derevoobrabatyvayushchego i mebel'nogo proizvodstva kontserna "Bellesbumprom" na period do 2025 goda* [Development program of the woodworking and furniture production concern "Bellesbumprom" for the period until 2025]. Minsk, 2020. 70 p. (In Russian).
10. Bataev A. A., Bataev V. A. *Kompozitsionnyye materialy: stroyeniye, polucheniye, primeneniye* [Composite materials: structure, preparation, application]. Moscow, Logos Publ., 2006. 398 p. (In Russian).
11. Khudyakov V. A. *Sovremennyye kompozitsionnyye stroitel'nyye materialy* [Modern composite building materials]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2007. 220 p. (In Russian).
12. GOST 99–2016. Cut veneer. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 12 p. (In Russian).
13. GOST 3916.1–2018. Plywood for general use with outer layers of deciduous veneer. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 25 p. (In Russian).
14. GOST 3916.2–2018. Plywood for general use with outer layers of coniferous veneer. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 28 p. (In Russian).
15. GOST 20800–75. Rotary cut veneer. Test methods. Moscow, Standartinform Publ., 1976. 7 p. (In Russian).
16. GOST 9622–2016. Glued laminated wood. Methods for determination of ultimate strength and modulus of elasticity in tension. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 10 p. (In Russian).
17. Ignatovich L. V., Skrotskiy A. I. Increasing the ecological characteristics of wood composite materials by improving the formulation of the adhesive composition. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: tezisy dokladov 83-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of the Forestry Industry: abstracts of the 83th scientific and technical conference of the teaching staff, researches and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2019, p. 44 (In Russian).
18. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Korobko E. V. Constructive features of carpentry and construction products based on plywood with increased water resistance. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: tezisy dokladov 82-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of the Forestry Industry: abstracts of the 82th scientific and technical conference of the teaching staff, researches and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2018, pp. 133–134 (In Russian).
19. Ignatovich L. V., Shetko S. V., Skrotskiy A. I. Complex and rational use of veneer in the production of carpentry and construction products. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, pp. 54–58 (In Russian).
20. Ignatovich L. V., Shetko S. V. The technology of production of furniture and carpentry and construction products. Moscow, INFRA-M Publ., 2020. 242 p. DOI: 10.12737/1030852. (In Russian).
21. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shetko S. V., Onegin V. I. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Moscow, INFRA-M Publ., 2021. 437 p. (In Russian).
22. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V. *Materialy derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Materials of woodworking productions]. Moscow, INFRA-M Publ., 2020. 307 p. (In Russian).
23. Ignatovich L. V. Production of multi-layer parquet boards with a front layer of compacted veneer. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka: trudy X Mezhdunarodnogo yevraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: Proceedings of the X International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2015, pp. 41–46 (In Russian).
24. Ignatovich L. V. The method of manufacturing parquet products from veneer with a given pattern of the face layer. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forestry and Woodworking Industry, pp. 94–100 (In Russian).

25. Pshenov A. A., Tverdokhlebova S. S. What is LVL-brus? *Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii* [Contemporary scientific research and innovations], 2012. No. 5. Available at: <https://web.snauka.ru/issues/2012/05/12341> (accessed: 24.02.2023) (In Russian).
26. GOST 33124–2014. Laminated veneer lumber. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 18 p. (In Russian).
27. Korotkov L. I. Test of bending elements made of glued wood veneer under the influence of static and alternating pulsating loads. *Nauchnyye trudy OAO TsNIIS* [Scientific works of OJSC TsNIIS], 2007, issue 240: Scientific problems of bridge building, pp. 22–26 (In Russian).
28. Korotkov L. I. Work on the endurance of bending samples from glued beams. *Nauchnyye trudy OAO TsNIIS* [Scientific works of OJSC TsNIIS], 2008, issue 247: Scientific problems of bridge building, pp. 20–24 (In Russian).
29. Korotkov L. I. Glued wood veneer. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the XXI century], 2014, issue 6 (185), pp. 38–41 (In Russian).
30. LVL-brus. Available at: <https://ultralam.com/ru/> (access date 12.02.2023) (In Russian).
31. GOST 11539–2014. Bakelized plywood. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 11 p. (In Russian).
32. Glued plywood. Available at: <https://tehlib.com/stroitel-ny-e-materialy/derevyanny-e-materialy-i-izdeliya/kleefanerny-e-derevyanny-e-konstruktsii/> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
33. GOST 4981–87. Wooden joists. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 1988. 6 p. (In Russian).
34. Glued plywood beams. Available at: <http://www.masterbetonov.ru/content/view/17992/341> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
35. Zhitushkin V. G. *Kleyefanernyye konstruktsii* [Glued plywood constructions]. Moscow, ASV Publ., 2011. 200 p. (In Russian).
36. Malyhina V. S., Frolov N. V., Fam S. H. Features of construction and calculation of plywood beams. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova*. [Bulletin of the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhova], 2016, no. 4, pp. 32–37 (In Russian).
37. Pinchuk E. A. On the question of the strength of plywood walls of plywood beams of variable height. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and technogenic safety], 2012, no. 44, pp. 45–53 (In Russian).
38. Bent glued beams Available at: <https://garden-house.ru/articles/gde-primenyayut-i-kak-proizvodyat-gnutye-balki-iz-kleenogo-brusa> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
39. Ovsyannikov S. I., Bogdanov I. I., Fedorenko A. V. Ecological aspects of wooden construction. *Energo- i resursosberegayushchiye ekologicheski chistyye khimikotekhnologicheskiye protsessy zashchity okruzhayushchey sredy: sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Energy- and resource-saving ecologically clean chemical-technological processes of environmental protection: Collection of reports of the international scientific and technical conference], 2015, pp. 236–242 (In Russian).
40. GOST 21178–2006. Bent Glued blanks. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 12 p. (In Russian).
41. Veneer gluing in the technology of bent-glued blanks. Available at: https://studref.com/556576/agropromyshlennost/skleivanie_shpona_tehnologii_gnutokleenyh_zagotovok (accessed 15.02.2023) (In Russian).
42. Technology of gluing blanks. Available at: <http://mebel.townevolution.ru/books/item/f00/s00/z0000001/st021.shtml> (accessed 15.02.2023) (In Russian).
43. Shetko S. V., Chuikov A. S., Ignatovych L. V., Uthof S. S. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Minsk, RIPO Publ., 2021. 355 p. (In Russian).
44. Chuikov A. S., Ignatovych L. V., Tuleyko V. V. The use of additive technologies for the production of decorative furniture elements. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: tezisy dokladov 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of the Forestry Industry: abstracts of the 85th scientific and technical conference of the teaching staff, researches and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 116–117 (In Russian).
45. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Ros-tov-on-Don, Feniks Publ., 2003. 480 p. (In Russian).
46. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shetko S. V., Hayduk S. S. Decoration of furniture elements and carpentry and construction products by the method of wood texture embossing and carving imitation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, pp. 197–204 (In Russian).

47. Armchair by Marcel Breuer's. Available at: <https://www.designindex.org/index/design/short-chair.html> (accessed 15.02.2023) (In Russian).

48. Modular storage systems. Available at: <https://vurni.com/modular-storage-cube-systems/> (accessed 15.02.2023) (In Russian).

49. Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Peculiarities of designing three-dimensional models and designs of decorative furniture elements and their manufacture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, pp. 156–161 (In Russian).

50. Chuikov A. S., Ignatovich L. V., Kunevich V. O. Features of immersive technologies used in design. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, pp. 174–180 (In Russian).

Информация об авторах

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Лосик Екатерина Анатольевна – аспирант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katerinalosik17@gmail.com

Information about the authors

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

Losik Ekaterina Anatol'evna – PhD student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katerinalosik17@gmail.com

Поступила 15.03.2023