

К расчету некоторых параметров композиционных материалов с древесным наполнителем

О.И. Бегунков^а, Н.О. Бегункова^б

Тихоокеанский государственный университет, Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

^а olegbeg@mail.ru, ^б natali-beg@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-5046-4212>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Статья поступила 15.08.2021, принята 01.09.2021

По запасам древесины Дальний Восток занимает второе место после Сибири. При этом основной объем хвойных пород составляет лиственница. Объемы переработки круглой древесины на различные виды продукции постоянно возрастают. Увеличивается производство пиломатериалов, шпона, фанеры, древесно-стружечных плит и другой продукции из древесины. В Хабаровском крае стартовала программа «Дом дальневосточника». Это флагманский проект, в реализации которого согласились участвовать и зарубежные фирмы, специализирующиеся в области производства малоэтажных деревянных домов. Заготовка и переработка древесины сопровождаются образованием большого количества отходов. Использование их для расширения ассортимента выпускаемой продукции в рамках повышения эффективности основного производства является важной задачей. При этом представляет несомненный интерес выпуск новых видов продукции. Одним из таких материалов может быть древесно-стружечная плита, содержащая слои из отходов лущеного шпона в виде полос определенной ширины, образующих шпоновую решетку. Места пересечения продольных и поперечных полос могут быть в отдельных случаях склеены между собой. Слои шпоновой решетки могут располагаться в различных местах сечения такого композиционного материала из древесины. В статье предлагается методика расчета таких композиционных анизотропных древесных материалов, изготовленных с использованием отходов древесины. Шпоновая решетка может чередоваться в определенной последовательности со слоями из других плитных материалов: со сплошными слоями лущеного шпона, слоями фанеры, древесно-стружечных и древесно-волоконистых плит различной толщины. Методика позволяет рассчитать геометрические характеристики предлагаемого к производству материала и может быть основой для прогнозирования их прочностных свойств по свойствам его структурных элементов.

Ключевые слова: фанера; прочность; шпоновая решетка; отходы; древесно-стружечная плита.

Calculation of some parameters for composite materials with wood filler

O.I. Begunkov^а, N.O. Begunkova^б

Pacific National University; 136, Tikhookeanskaya St., Khabarovsk, Russia

^а olegbeg@mail.ru, ^б natali-beg@mail.ru

^а <https://orcid.org/0000-0002-5046-4212>, ^б <https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Received 15.08.2021, accepted 01.09.2021

The Far East ranks second in timber reserves after Siberia. At the same time, the main volume of conifers is larch. The volume of round wood processing for various types of products is constantly increasing. The production volumes of sawn timber, veneer, plywood, wood particle boards and other wood products are growing. The program "The House of the Far Eastern Human" has recently been launched in the Khabarovsk Territory. This is the regional flagship project, in the implementation of which foreign firms, specializing for the production of low-rise wooden houses, agreed to participate as well. Harvesting and processing of wood is accompanied by the formation of a large amount of waste. Using it to expand the range of products is an important task for improving the efficiency of the main production. At the same time, the release of new types of products is of undoubted interest. One of these materials can be a wood particle board containing layers of peeled veneer waste as the form of strips of a certain width, forming a veneer lattice. The intersections of the longitudinal and transverse stripes can, in some cases, be glued together. The layers of the veneer lattice can be located at different cross-sectional locations of such a composite wood material. The article proposes a method for calculating the production of such composite anisotropic wood materials which are made by using wood waste. The veneer lattice can be alternated in a certain sequence with layers of other board materials: with solid layers of peeled veneer, layers of plywood, wood particle boards and fibreboards of various thicknesses. The technique allows calculating the geometric characteristics of the material proposed for production and can be the basis for predicting their strength properties based on the properties of its structural elements.

Keywords: plywood; strength; veneer lattice; waste; wood particle board.

Введение. На Дальнем Востоке сосредоточено около 13 % расчетной лесосеки России [1]. Ожидается, что к 2030 г. лесной комплекс в несколько раз увеличит свой вклад как в бюджет страны, так и в бюджет края. Новый флагманский проект «Дом дальневосточника», стартовавший в Хабаровском крае [2], предполагает широкое применение различных деревянных конструкций и композиционных материалов на основе древесных наполнителей [3; 4]. Однако сегодня в лесном комплексе при заготовке и переработке древесины объемы отходов достаточно внушительны [5], и вопрос их глубокой переработки имеет особую актуальность. Одним из перспективных направлений рационального использования лесных отходов является производство различных композиционных материалов с использованием древесины. В работах [6–13] отражены различные аспекты этого направления, связанные с особенностями технологий, расчетами и свойствами таких материалов. В настоящее время ведутся переговоры о привлечении к решению этих вопросов ведущих иностранных компаний [14]. Одной из них является крупный японский домостроительный холдинг «Иида Групп». Это лидирующая компания на японском строительном рынке, занимающая в Японии первое место в сфере малоэтажного деревянного домостроения. При изготовлении домов компания широко применяет клееный брус, различные древесные плитные материалы. Следует учитывать, что в отходах лесопереработки ошествлено большое количество труда. С этой точки зрения для повышения эффективности производства такое сырье надо в первую очередь включить в промышленный оборот. В последнее время в регионе растет производство лущеного шпона, фанеры. Изготовление этой продукции отличается большой материалоемкостью, что отражено в различных работах [15]. Образуется значительное количество отходов в виде карандашей, кускового шпона, обрезков фанеры и др. Одно из решений этой проблемы — разработка на базе отходов новых нетрадиционных материалов. К их числу можно отнести плитные древесные материалы, в структуре которых используются отходы от производства лущеного шпона в виде полосок определенной ширины, сплетенных в решетки — так называемой шпоновой решетки.

В статье предлагается методика расчета таких композиционных анизотропных древесных материалов (КАДМ). При этом можно в какой-то степени использовать некоторые теоретические предпосылки оценки прочности и деформативности, изложенные в работах [16–20].

Основная часть. КАДМ представляет собой слоистый материал, где шпоновая решетка чередуется в определенной последовательности со слоями из других плитных материалов (например, древесно-стружечной, фанерной, древесно-волокнистой и др.). Схема строения КАДМ при нечетном числе слоев представлена на рис. 1, при четном числе — на рис. 2.

Изображение структуры КАДМ как чередование отдельных слоев различных материалов позволяет разработать универсальный подход к представлению свойств такого анизотропного материала, содержащего отдельные слои в виде шпоновой решетки (рис. 3). Если обозначить через λ срединный слой (пусть, для определенности, этот слой существует, если $\lambda = 1$; иначе $\lambda = 0$), то различные виды КАДМ можно представить через относительные параметры (см. табл. 1).

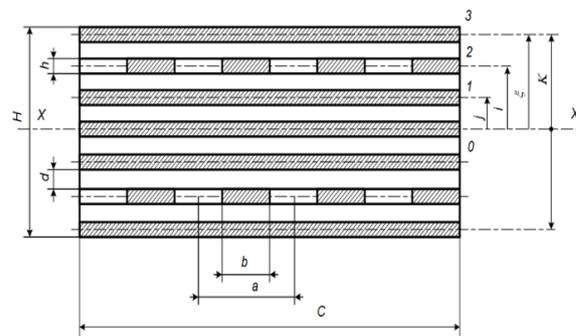


Рис. 1. Схема строения КАДМ при нечетном числе слоев

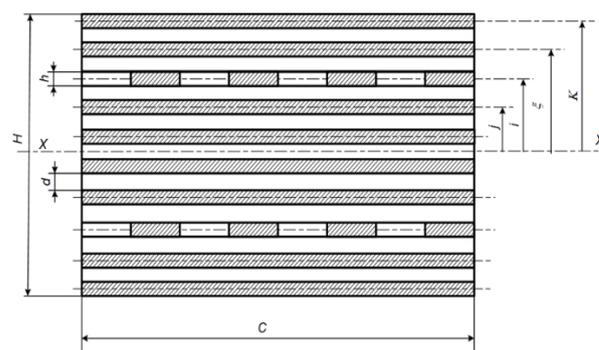


Рис. 2. Схема строения КАДМ при четном числе слоев

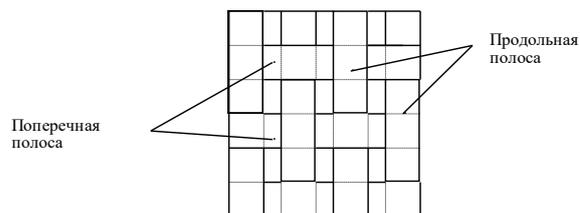


Рис. 3. Строение шпоновой решетки

При рассмотрении структуры КАДМ площади их отдельных составляющих можно определить следующим образом:

- 1) площадь срединного слоя шпона:

$$S_{\text{сл_ср}}^{\text{шп}} = m \cdot a \cdot h \cdot \lambda,$$

где m — число продольных полос шпоновой решетки в листе; a — шаг полос шпона в шпоновой решетке; h — толщина шпона в решетке;

- 2) суммарная площадь прослойки:

$$S^{\text{шп}} = m \cdot a \cdot [2(k-1) \cdot d - (\lambda-1) \cdot d],$$

где k — количество слоев КАДМ, расположенных выше горизонтальной оси симметрии (при этом срединный слой не входит в число k); d — толщина прослойки любого другого материала;

- 3) суммарная площадь шпона:

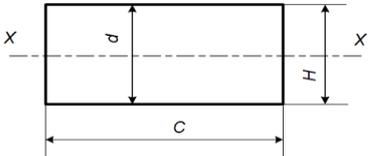
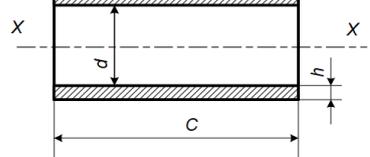
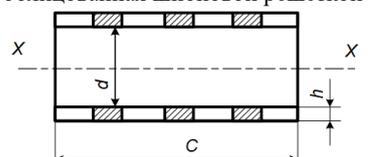
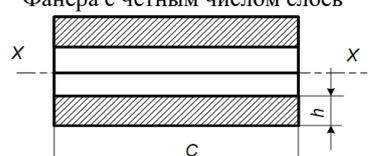
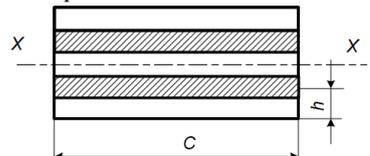
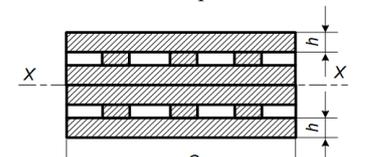
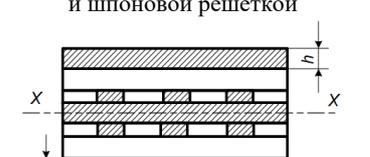
$$S^{\text{шп}} = m \cdot a \cdot 2(k-1) \cdot h;$$

- 4) суммарная площадь продольных полос шпоновой решетки:

$$S_{\text{шп}}^{\text{шп}} = 2m \cdot b \cdot h,$$

где b — ширина продольной полосы шпоновой решетки;

Таблица 1. Характеристика схем строения КАДМ

Наименование материала	Основные параметры сечений материала							Структура материала
	k	λ	α	j	i	ξ	h	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Древесно-стружечные плиты без поверхностного и срединного слоя	1	0		0	0	0	0	<p>Древесно-стружечная плита</p> 
	$H = 0 \cdot 0 + 2 \cdot 1 \cdot 0 + 2 \cdot 0 \cdot d - d(0 - 1) = d$							
2. Древесно-стружечные плиты с поверхностным слоем в виде шпона	1	0		0	0	1		<p>Древесно-стружечная плита, облицованная шпоном</p> 
	$H = h \cdot 0 + 2 \cdot 1 \cdot h + 2 \cdot 0 \cdot d + d = 2h + d$							
3. Древесно-стружечная плита с поверхностным слоем в виде шпоновой решетки	1	0		0	1	1		<p>Древесно-стружечная плита, облицованная шпоновой решеткой</p> 
	$H = 2h + d$							
4. Фанера с четным числом слоев без шпоновой решетки	$\frac{n}{2}$	0	0	0	0		$0 - \frac{n}{2}$	<p>Фанера с четным числом слоев</p> 
	$H = 2k \cdot h$							
5. Фанера с нечетным числом слоев без шпоновой решетки	$\frac{n-1}{2}$	1	0	0	0		$0 - \frac{n-1}{2}$	<p>Фанера с нечетным числом слоев</p> 
	$H = (2k + 1) \cdot h$							
6. Фанера со шпоновой решеткой и четным числом слоев	$\frac{n}{2}$	0	0	$< i$	$0 - k$	$> i, \leq \frac{n}{2}$		<p>Фанера с четным числом слоев и шпоновой решеткой</p> 
	$H = (2k + 1) \cdot h$							
7. Фанера со шпоновой решеткой и нечетным числом слоев	$\frac{n-1}{2}$	1	0	$< i$	$0 - k$	$> i, \leq \frac{n-1}{2}$		<p>Фанера с нечетным числом слоев и шпоновой решеткой</p> 
	$H = (2k + 1) \cdot h$							

5) суммарная площадь прослойки в плоскости шпоновой решетки:

$$S_{шп}^{шп} = 2m(a-b) \cdot h = 2m \cdot a \cdot h(1-\alpha),$$

так как:

$$2m \cdot a \cdot h \cdot \frac{b}{a} = 2m \cdot a \cdot h \cdot \alpha,$$

где $\alpha = b/a$ — плотность шпоновой решетки.

Тогда суммарные площади сечения (A), прослойки ($A^{шп}$), а также шпона и продольных полос шпоновой решетки ($A^{шпш}$) можно вычислить по следующим формулам:

$$\begin{aligned} A^{шпш} &= m \cdot a \cdot h \cdot \lambda + m \cdot a \cdot 2(k-1) \cdot h + 2m \cdot a \cdot h \cdot \alpha = \\ &= m \cdot a \cdot h [\lambda + 2(k-1) + 2\alpha], \\ A^{шп} &= m \cdot a \cdot [2(k-1) \cdot d - (\lambda-1) \cdot d] + 2m \cdot a \cdot h(1-\alpha) = \\ &= m \cdot a \cdot h [2k - 2 - \lambda + 1] \cdot \beta + 2(1-\alpha) = \\ &= m \cdot a \cdot h [(2k - \lambda - 1) \cdot \beta + 2(1-\alpha)], \\ A &= m \cdot a \cdot [h \cdot \lambda + 2 \cdot h(k-1) + 2 \cdot h \cdot \alpha + 2 \cdot h(1-\alpha) + \\ &\quad + 2(k-1) \cdot d - (\lambda-1) \cdot d] = \\ &= m \cdot a \cdot [h \cdot \lambda + 2 \cdot h \cdot k + 2(k-1) \cdot d - (\lambda-1) \cdot d] = \\ &= m \cdot a \cdot [h(\lambda + 2k) + d(2k - 2 - \lambda + 1)] = \\ &= m \cdot a \cdot [h(\lambda + 2k) + d(2k - 1 - \lambda)], \end{aligned}$$

где $\beta = d/h$ — степень неоднородности материала.

Для расчета упругих характеристик КАДМ можно использовать следующие формулы для макроскопических модулей объемного сжатия (K^*) и сдвига (G^*):

$$\begin{aligned} K^* &= \langle K \rangle - \frac{3C^{шп}C^{шпш}(K^{шпш}K^{шп})^2}{\langle 3K + 4G \rangle + 3K'}, \\ G^* &= \langle G \rangle - \frac{6C^{шп}C^{шпш}(G^{шпш} - G^{шп})^2(K + 2G)}{5\langle G \rangle \langle 3K + 4G \rangle + 6\langle K + 2G \rangle G'}, \end{aligned}$$

где для следующих обозначений справедливы выражения:

$$\begin{aligned} \langle K \rangle &= C^{шп}K^{шп} + C^{шпш}K^{шпш}, \\ \langle G \rangle &= C^{шп}G^{шп} + C^{шпш}KG^{шп}, \\ K' &= (C^{шп} - C^{шпш})(K^{шпш} - K^{шп}), \\ G' &= (C^{шп} - C^{шпш})(G^{шпш} - G^{шп}), \end{aligned}$$

где $C^{шп}$, $C^{шпш}$ — объемное содержание соответственно прослойки и шпона в материале.

При регулярной по длине структуры КАДМ объемное содержание шпона и прослойки можно заменить следующими соотношениями площадей:

Литература

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г. [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства РФ № 312-р от 01.02.2021 // Доступ из справ. - правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru> (дата обращения: 16.06.2021).
2. Вилин И. «Дом дальневосточника» - наш новый проект //

$$C^{шп} = \frac{A^{шп}}{A};$$

$$C^{шпш} = \frac{A^{шпш}}{A}.$$

Упругие постоянные: модуль упругости (E) в плоскости прессования, E' , μ' , G' в перпендикулярном направлении выражаются через упругие постоянные прослойки E , μ , G и шпона $E^{шпш}$, $E'^{шпш}$, $\mu^{шпш}$, $G^{шпш}$, а также их объемные содержания $C^{шп}$, $C^{шпш}$:

$$\begin{aligned} \frac{1}{E} &= \frac{C^{шп}}{E^{шп}} + \frac{C^{шпш}}{E^{шпш}}, \\ E' &= C^{шпш}E^{шпш} + C^{шп}E^{шп}, \\ \mu' &= C^{шпш}\mu^{шпш} + C^{шп}\mu^{шп}, \\ G' &= \frac{C^{шпш}}{E^{шпш}} + \frac{2C^{шп}(1 + \mu^{шп})}{E^{шп}}. \end{aligned}$$

Для предельных напряжений вдоль $\langle \sigma_{11} \rangle_v$ и поперек $\langle \sigma_{33} \rangle$ направления прессования справедливо выражение:

$$\langle \sigma_{11} \rangle_v = \frac{(E + E')^2 + 2G'(E + E' + 2\mu E)}{E(3E + 3E' + 2\mu'E + 4G')} \cdot \sigma_v,$$

где $\sigma_v = \langle \sigma_{33} \rangle$.

Практически, испытав КАДМ в плоскости шпона и установив предельные напряжения в этом направлении, можно вычислить предельные напряжения в направлении прессования.

Заключение. Представленная методика позволяет определить площадь, моменты инерции сечения и упругие характеристики КАДМ, что дает возможность рассчитывать указанные характеристики для различных структур КАДМ, от древесной плиты до фанеры, включая шпоновую решетку или нет.

Кроме того, методика позволяет определить геометрические характеристики в случае использования комбинированной структуры. Количество слоев шпона и других материалов, а также порядок их расположения может быть любым, позволяющим оптимальным образом решать соответствующие задачи.

Данная методика оценки прочности и деформативности КАДМ также может служить основой для прогнозирования их прочностных свойств по свойствам структурных элементов, входящих в КАДМ.

На наш взгляд, предлагаемые материалы найдут свое место как в строительстве, так и в различных областях промышленности. При этом использование шпоновой решетки позволяет не только более рационально использовать древесину, но и регулировать свойства изготавливаемых клееных материалов.

- Тихоокеанская звезда. 2021. № 59-60 (2-3 апр.). С. 1.
3. Исаев С.П. Совершенствование конструктивно-технологической системы возведения наружных стен деревянных малоэтажных зданий // Journal of Advanced Research in Natural Science. 2020. № 10. P. 59-63.
4. Исаев С.П., Еренков О.Ю. Совершенствование технологии стенового материала малоэтажного домостроения // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 3. С. 12-15.
5. Рябухин П.Б. Экономико-математическое моделирование

- оценки эффективности деятельности предприятий лесопромышленного комплекса // Системы Методы Технологии. 2020. № 4 (48). С. 139-144.
6. Porebska R., Rybak A., Kozub B., Sekula R. Polymer matrix influence on stability of wood polymer composites // *Polymers for Advanced Technologies*. 2015. V. 26. P. 1076-1082.
 7. Rahman K.S., Islam M.N., Rahman M.M., Hannan M.O., Dungan R., Khalil H.A. Flat-pressed wood plastic composites from sawdust and recycled polyethylene terephthalate (PET): Physical and mechanical properties // *SpringerPlus*. 2013. V. 2. P. 1-7.
 8. Okereke M.I., Akpoyomare A.I., Bingley M.S. Virtual testing of advanced composites, cellular materials and biomaterials: A review Original Research Article // *Composites Part B: Engineering*. 2014. V. 60. P. 637-662.
 9. Lu X., Viljanen M. Fibrous insulation materials in building engineering applications // *Fibrous and composite materials for civil engineering applications*. UK: Woodhead Publishing, 2011. P. 271-305.
 10. Razinkov E.M., Kantieva E.V., Ponomarenko L.V., Ishchenko T.L. Production of environmentally friendly wood boards from the wastes of the forest complex enterprises // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 226. P. 21-29.
 11. Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // *Wood Science and Technology*. 1999. V. 33 (1). P. 73-83.
 12. Balla V.K., Kate K.H., Satyavolu J., Singh P., Tadimetri J.G. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects // *Composites Part B: Engineering*. 2019. V. 174. P. 106956-106958.
 13. Heller W. Die Herstellung von Spanplatten aus unkonventionellen Rohstoffen // *Holz als Roh-und Werkstoff*. 1980. V. 38. P. 393-396.
 14. Вилин И. Хабаровский лес - японские технологии // *Тихоокеанская звезда*. 2021. № 124 (9 июля). С. 4.
 15. Одиноква О.А., Бегунков О.И. Новые клееные материалы из древесины для стеновых панелей при индивидуальном строительстве // *Строительная механика и механика материалов / Хабар. гос. техн. ун-т*. 1998. Вып. 1. С. 47-49. Деп. в ВИНТИ 04.08.98, № 2486-В 98.
 16. Щербаков А.С. Некоторые вопросы теории прочности и деформативности арболита // *Науч. труды МЛТИ. Технология древесных пластиков и плит*. 1980. Вып. 127. С. 5-20.
 17. Щербаков А.С. Основы повышения качества арболита на древесных заполнителях: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1981. 494 с.
 18. Одиноква О.А., Бегунков О.И. Конструктивные особенности клееных древесных плит // *Прогрессивные строительные конструкции для условий Дальнего Востока: сб. науч. тр. Хабаровск: Изд-во Хабар. гос. технического ун-та*, 1994. С. 61-63.
 19. Базаров С.М., Чубинский А.Н., Бачериков И.В., Базаров Ф.Р., Говядин И.К. Элементы основ механики древесной среды // *Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад.* 2020. Вып. 231. С. 141-150.
 20. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев А.А., Федяева Н.Ю., Кульков А.М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины // *Системы Методы Технологии*. 2015. № 2 (26). С. 152-158.
- References*
1. The strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030 [Elektronnyj resurs]: utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF № 312-r ot 01.02.2021 // *Dostup iz sprav. - pravovoj sistemy «Garant»*. URL: <http://www.garant.ru> (data obrashcheniya: 16.06.2021).
 2. Vilin I. "The house of the far east's human" - our new project // *Tihookeanskaya zvezda*. 2021. № 59-60 (2-3 apr.). P. 1.
 3. Isaev S.P. Improvement by structural and technological system of construction of external walls of wooden low-rise buildings // *Journal of Advanced Research in Natural Science*. 2020. № 10. P. 59-63.
 4. Isaev S.P., Erenkov O.YU. Technology improvement of wall material for low-rise house building // *Remont, Vosstanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization)*. 2020. № 3. P. 12-15.
 5. Ryabuhin P.B. Economic and mathematical modeling of performance evaluation of timber industry enterprises // *Systems. Methods. Technologies*. 2020. № 4 (48). P. 139-144.
 6. Porebska R., Rybak A., Kozub B., Sekula R. Polymer matrix influence on stability of wood polymer composites // *Polymers for Advanced Technologies*. 2015. V. 26. P. 1076-1082.
 7. Rahman K.S., Islam M.N., Rahman M.M., Hannan M.O., Dungan R., Khalil H.A. Flat-pressed wood plastic composites from sawdust and recycled polyethylene terephthalate (PET): Physical and mechanical properties // *SpringerPlus*. 2013. V. 2. P. 1-7.
 8. Okereke M.I., Akpoyomare A.I., Bingley M.S. Virtual testing of advanced composites, cellular materials and biomaterials: A review Original Research Article // *Composites Part B: Engineering*. 2014. V. 60. P. 637-662.
 9. Lu X., Viljanen M. Fibrous insulation materials in building engineering applications // *Fibrous and composite materials for civil engineering applications*. UK: Woodhead Publishing, 2011. P. 271-305.
 10. Razinkov E.M., Kantieva E.V., Ponomarenko L.V., Ishchenko T.L. Production of environmentally friendly wood boards from the wastes of the forest complex enterprises // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. V. 226. P. 21-29.
 11. Startsev O.V., Salin B.N., Skuridin Yu.G., Utemesov R.M., Nasonov A.D. Physical Properties and Molecular Mobility of New Wood Composite Plastic «Thermobalite» // *Wood Science and Technology*. 1999. V. 33 (1). P. 73-83.
 12. Balla V.K., Kate K.H., Satyavolu J., Singh P., Tadimetri J.G. Additive manufacturing of natural fiber reinforced polymer composites: Processing and prospects // *Composites Part B: Engineering*. 2019. V. 174. P. 106956-106958.
 13. Heller W. Die Herstellung von Spanplatten aus unkonventionellen Rohstoffen // *Holz als Roh-und Werkstoff*. 1980. V. 38. P. 393-396.
 14. Vilin I. Khabarovsk forest - Japanese technologies // *Tihookeanskaya zvezda*. 2021. № 124 (9 iyulya). P. 4.
 15. Odiokova O.A., Begunkov O.I. New glued wood materials for wall panels for individual construction. Structural mechanics of materials // *Stroitel'naya mekhanika i mekhanika materialov / Pacific National University (PNU)*. 1998. Vyp. 1. P. 47-49. Dep. v VINITI 04.08.98, № 2486-V 98.
 16. SHCHerbakov A.S. Some questions of the theory of strength and deformability of wood concrete // *Nauch. trudy MLTI. Tekhnologiya drevesnyh plastikov i plit*. 1980. Vyp. 127. P. 5-20.
 17. SHCHerbakov A.S. Fundamentals of improving the quality of wood concrete based on wood fillers: dis. ... d-ra tekhn. nauk. M., 1981. 494 p.
 18. Odiokova O.A., Begunkov O.I. Constructive features of glued wood boards // *Progressivnye stroitel'nye konstrukcii dlya uslovij Dal'nego Vostoka: sb. nauch. tr. Habarovsk: Izd-vo Habarovsk. gos. tekhnicheskogo un-ta*, 1994. P. 61-63.
 19. Bazarov S.M., Chubinskij A.N., Bacherikov I.V., Bazarov F.R., Govyadin I.K. Elements of the basics of wood environment mechanics // *Izvestia SPbLTA*. 2020. Vyp. 231. P. 141-150.
 20. Chubinskij A.N., Tambi A.A., Fedyayev A.A., Fedyayeva N.YU., Kul'kov A.M. Directions of using physical methods for controlling the structure and properties of wood // *Systems. Methods. Technologies*. 2015. № 2 (26). P. 152-158.