

## Обоснование режима склеивания древесно-стружечных плит для облицовывания CLT-панелей

О.И. Бегунков<sup>a</sup>, Н.О. Бегункова<sup>b</sup>

Тихоокеанский государственный университет, ул. Тихоокеанская, 136, Хабаровск, Россия

<sup>a</sup> olegbeg@mail.ru, <sup>b</sup> natali-beg@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5046-4212>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Статья поступила 03.04.2023, принята 20.04.2023

*Малоэтажное деревянное домостроение становится в настоящее время все более востребованным как жилье, построенное из природных материалов, т. е. более экологичное. Интенсивное развитие деревянного домостроения ориентировано на строительство многоэтажных домов. Этому во многом способствовало использование CLT-панелей, которые могут быть облицованы различными древесно-плитными, в частности, древесно-стружечными материалами. В статье обосновывается режим склеивания древесно-стружечных плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий). Такие плиты, на наш взгляд, будут иметь меньшую плотность и, как следствие, меньшую массу. В эксперименте использовались методы многофакторного планирования с применением плана Бокса – Бенкина. Варьировались три фактора — температура плит пресса, расход связующего и продолжительность прессования. В качестве выходных параметров были приняты предел прочности при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти, а также содержание формальдегида. В результате были получены уравнения регрессии и построены поверхности отклика, позволяющие установить характер влияния изучаемых факторов на выходные функции. Помимо поверхностей отклика, отражающих изучаемые зависимости, на графиках представлены плоскости, отражающие минимально допустимые показатели соответствующих выходных функций для плит марки P2 толщиной 13–20 мм. Для поиска оптимальных уровней факторов, обеспечивающих получение плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно плоскости (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий) использовались возможности математического пакета Mathcad. Применение таких древесно-стружечных плит для облицовывания CLT-панелей позволит сделать их менее материалоемкими.*

**Ключевые слова:** древесно-стружечная плита; CLT-панели; прочность; многофакторное планирование.

## Substantiation of the mode of bonding chipboards for veneering CLT-panels

O.I. Begunkov<sup>a</sup>, N.O. Begunkova<sup>b</sup>

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

<sup>a</sup> olegbeg@mail.ru, <sup>b</sup> natali-beg@mail.ru

<sup>a</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5046-4212>, <sup>b</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5069-9604>

Received 03.04.2023, accepted 20.04.2023

*Low-rise wooden housing construction is currently becoming more and more in demand as the houses built from natural materials, is considered to be more environmentally friendly. The intensive development of wooden housing construction is focused on the construction of multi-storey buildings. This is largely facilitated by the use of CLT-panels in the construction. CLT-panels can be faced with various wood-based materials and, in particular, with wood splinters. The article substantiates the mode of bonding chipboards, which have the minimum allowable strength at static bending (with a minimum formaldehyde content for the selected conditions). Such chipboards are supposed to have a lower density and, as a result, a smaller mass. The experiment uses Box-Benkin multi-factor planning methods. Three factors are variable: the temperature of press plates, consumption of the binder, and duration of pressing. As output parameters, the ultimate strength at static bending and at tension perpendicular to the face, as well as the content of formaldehyde, are taken. As a result, regression equations are obtained and response surfaces are constructed, which make it possible to establish the nature of the influence of the studied factors on the output functions. In addition to the response surfaces reflecting the dependences under research, the graphs show planes that reflect the minimum allowable indicators of the corresponding output functions for P2 grade slabs with a thickness of 13–20 mm. To search for the optimal levels of factors that ensure the production of plates with the minimum allowable strength at static bending and tension perpendicular to the plane (with a minimum formaldehyde content for the selected conditions), the capabilities of the Mathcad mathematical package are used. The use of such chipboards for veneering CLT-panels will make them less material-intensive.*

**Keywords:** chipboard; CLT-panels; strength; multifactorial planning.

**Введение.** Технологии деревянного домостроения находятся в постоянном развитии [1–5]. С середины прошлого века и в первом десятилетии нынешнего широко строились каркасные дома. Это связано с высокой

эффективностью как самих технологий, так и эффективностью эксплуатации построенных по ним домов. В таких домах функцию несущих элементов выполняют элементы каркаса, а их заполнение имеет только ограждающую теплозащитную функцию. Применение при их изготовлении современных технологий механической обработки и склеивания древесины, организации строительства зданий, а также использование различных прогрессивных и конструктивных решений позволяет значительно снизить затраты и время строительства по сравнению со зданиями из других строительных материалов.

Для обшивки каркаса с обеих сторон используют различные древесно-плитные материалы: фанеру, древесно-стружечные, цементно-стружечные плиты и др. Древесно-плитные материалы при такой технологии способствуют превращению строительного объекта в цельную пространственную систему, обеспечивая перераспределение усилий между отдельными элементами. Поэтому, как правило, предъявляются повышенные требования к их прочности. Среди древесно-стружечных следует обратить внимание на плиты OSB. Из информации, приведенной в табл. 1, заслуживают внимания плиты марки OSB-3. Они обладают, с этой точки зрения, оптимальными характеристиками.

**Таблица 1.** Сферы применения OSB-плит относительно их класса

Класс OSB	Характеристика	Применение
OSB-1	Невысокая прочность и влагостойкость, используются в качестве временных материалов	Обшивка, упаковка, элементы мебели
OSB-2	Прочные, но не очень водостойкие, применяются как конструкционные плиты для внутренних работ (в сухой среде)	Поддоны, ящики, внутренняя обшивка, стеновые панели
OSB-3	Довольно прочные и высоко водостойкие, применяются в качестве конструкционных влагостойких плит для внешних и внутренних работ и др.	Наружная и внутренняя обшивка, перегородки, стеновые панели, временная кровля, сплошная обрешетка, кессоны потолка, основа пола, готовый пол, заборы, ограждения, рекламные щиты
OSB-4	Сверхпрочные конструкционные плиты с повышенной водостойкостью, используются при изготовлении конструкций, несущих значительную механическую нагрузку при повышенной влажности	Строительные леса, опалубка, наружная и внутренняя обшивка, несущие балки потолков, перекрытия, лестницы

Древесно-плитные материалы используются в тех же целях и в панельном деревянном домостроении.

Однако в технологии панельного деревянного домостроения произошли определенные изменения. Стали использовать в строительстве CLT-панели, представляющие собой многослойный материал из склеенных в продольном и поперечном направлениях ламелей [6–15]. Такая панель, образно говоря, представляет древесный монолит, и при ее использовании в деревянном домостроении отпадает необходимость в использовании несущих каркасов и прочих силовых элемен-

тов. CLT-панели могут быть облицованы различными древесно-плитными материалами. При этом, на наш взгляд, это не обязательно должны быть материалы с высокой прочностью, например, фанера, плиты OSB-3 или OSB-4 (получение материалов повышенной прочности, как правило, требует дополнительных затрат). Тем не менее, они должны соответствовать требованиям определенных нормативных документов.

В табл. 2 показаны изменения некоторых показателей, характеризующих свойства древесно-стружечных плит в различных ГОСТах.

**Таблица 2.** Сравнительные показатели механических свойств древесно-стружечных плит по различным ГОСТам

Показатели	Номер нормативного документа			
	ГОСТ 10632-77	ГОСТ 10632-89	ГОСТ 10632-2007	ГОСТ 10632-2014
Толщина, мм	15...19	13...19	14...20	13...20
Предел прочности, МПа:				
– при статическом изгибе	17,6	16	13	11
– при растяжении перпендикулярно пласти	0,34	0,35	0,35	0,35
Содержание формальдегида, мг на 100 г абсолютно сухой плиты (для E1)	–	до 10 включительно	до 8 включительно	Свыше 4 до 8 включительно (в среднем 6,5)

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что требования к прочности плит на изгиб существенно уменьшились. В какой-то степени, видимо, это обусловлено уменьшением роли древесно-стружечных плит как несущих элементов в различных изделиях и использованием их в качестве облицовочных материалов. Для таких материалов прочность уже не является основным показателем. Поэтому в оценке эффективности применения дре-

весно-стружечных плит большую роль будут играть их материалоемкость или плотность. Известно, что прочность плиты зависит от ее плотности [16], на которую оказывают влияние, в свою очередь, такие факторы, как температура, расход связующего, время прессования, давление. Поэтому уменьшение плотности плит способствует снижению материалоемкости различных изделий, в том числе и панелей CLT, в случае использования дре-

весно-стружечных плит для их облицовывания. С этих позиций вопрос поиска режимов склеивания плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно плоскости (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий), является актуальным. Для изготовления древесно-стружечных плит была принята древесина лиственницы даурской, имеющая в восточных районах страны наибольшие запасы [17].

**Основная часть.** Цель работы — поиск режима склеивания плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе и растяжении, а также минимальное содержание формальдегида.

**Таблица 3.** Постоянные факторы эксперимента

Наименование	Значение
Вид связующего	КФ-МТ-15 (ТУ 6-06-12-88)
Содержание сухих веществ, %	55
Вид отвердителя	NH <sub>4</sub> Cl
Фракционный состав и размеры стружки	см. табл. 5
Влажность сухой стружки, %	2±1
Давление прессования, МПа	2,2
Конструкция плиты	однослойная
Размеры плиты, мм	300×300×16
Плотность плиты, кг/м <sup>3</sup>	700

**Таблица 4.** Переменные факторы и уровни их варьирования

Наименование фактора	Обозначение		Уровень варьирования фактора		
	натуральное	нормализованное	нижний (-)	основной (0)	верхний (+)
Температура плит пресса, °C	<i>T</i>	<i>x</i> <sub>1</sub>	120	155	190
Расход связующего, %	<i>Q</i>	<i>x</i> <sub>2</sub>	10	14	18
Продолжительность прессования, мин/мм	<i>τ</i>	<i>x</i> <sub>3</sub>	0,25	0,35	0,45

**Таблица 5.** Фракционный состав и размеры древесных частиц

Наименование	Состав по фракциям, %								
	4/20	2,5/20	5,5	4,5	3,75	3,25	1	0,25	дно
Древесные частицы из лиственницы	17,02	25,33	10,82	8,8	9,09	6,27	17,24	3,75	1,65
Размеры древесных частиц, мм	длина до 30; ширина 3...12; толщина до 0,2								
Влажность древесных частиц, %	2±1								

Для решения поставленных задач в качестве выходных параметров были приняты: предел прочности  $\sigma_{и}$  при статическом изгибе по ГОСТ 10635-88; предел прочности  $\sigma_{р}$  при растяжении перпендикулярно пласти по ГОСТ 10636-2018; количество выделения формальдегида  $\phi$  в процессе прессования.

Все определяемые механические показатели прочности плит приводились к единой плотности 700 кг/м<sup>3</sup> по формулам [16].

Количественное определение выделений формальдегида определяли в соответствии с ГОСТ 27678-2014 «Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида».

Матрица эксперимента и его результаты представлены в табл. 6.

Для анализа влияния обозначенных факторов на выходные параметры необходимо построить регресси-

онные модели. Задачей в настоящей работе является изучение влияния ряда технологических факторов, характеризующих процесс склеивания древесно-стружечных плит (температуры, расхода связующего, времени прессования) на прочность плит. Для этого воспользовались симметричным квази Д-оптимальным планом Бокса – Бенкина размерности 3, состоящим из 13 точек и включающим одну точку, закрепленную на основном уровне [18].

Значения постоянных факторов эксперимента даны в табл. 3. Переменные факторы эксперимента и уровни их варьирования представлены в табл. 4. Переменные и постоянные факторы, а также их уровни были приняты на основе анализа априорной информации [18; 19].

онные модели. На основе изучения работ [18; 19] за основу была принята регрессионная модель в виде полинома 2-й степени:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + b_6x_3^2 + b_7x_1x_2 + b_8x_1x_3 + b_9x_2x_3 \quad (1)$$

Для определения коэффициентов данного полинома (1) использовался известный метод наименьших квадратов, представленный в матричном варианте [19]:

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (2)$$

где  $X$  — матрица базисных функций:

$$X = \begin{pmatrix} x_{01} & x_{11} & \dots & x_{k1} \\ x_{02} & x_{12} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{0N} & x_{1N} & \dots & x_{kN} \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{pmatrix};$$

элемент  $x_{ji}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N, j = 1, 2, \dots, k$  которой соответствует значению нормализованного фактора  $x_j$  в  $i$ -м опыте, а элемент  $x_{0i}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  соответствует значению фиктивного фактора  $x_0$  в  $i$ -м опыте, необходимого для удобства вычислений ( $x_{0i} = 1, i = 1, 2, \dots, N$ );  $Y$  — столбец результатов эксперимента в  $i$ -м опыте:

$B$  — столбец искомых коэффициентов регрессионной модели:

$$B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{pmatrix}.$$

**Таблица 6.** Матрица эксперимента и его результаты

№ опыта	Порядок реализации	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Предел прочности при статическом изгибе			Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти			Количество выделения формальдегида		
					$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_1$	$y_2$	$y_3$
1	6	1	-1	0	16,39	18,63	17,60	0,0890	0,0700	0,0660	13,47	12,25	12,36
2	10	-1	-1	0	10,63	11,55	10,49	0,0290	0,0300	0,0250	0,02	0,10	0,09
3	7	1	1	0	25,96	25,60	26,23	0,1430	0,1200	0,1580	18,45	17,35	16,22
4	11	-1	-1	0	19,74	16,29	18,00	0,0780	0,0920	0,0820	1,57	0,29	0,54
5	8	1	0	-1	20,53	17,26	18,88	0,1190	0,1110	0,1120	10,29	10,17	9,93
6	12	-1	0	-1	4,53	6,12	3,86	0,0060	0,0055	0,0500	0,15	0,09	0,17
7	9	1	0	1	15,18	14,54	15,82	0,0920	0,0890	0,0900	18,36	18,49	19,85
8	13	-1	0	1	12,12	11,81	12,40	0,1680	0,1490	0,1555	1,37	1,65	1,36
9	1	0	-1	-1	8,17	7,94	7,68	0,1160	0,1155	0,1150	1,86	2,07	2,45
10	2	0	1	-1	17,76	17,75	17,77	0,0790	0,0840	0,0830	4,31	3,99	4,09
11	4	0	-1	1	11,89	12,60	10,71	0,1070	0,1030	0,0960	6,59	7,36	6,47
12	3	0	1	1	14,07	14,80	15,33	0,1780	0,2170	0,1900	12,34	12,25	12,45
13	5	0	0	0	17,43	18,20	18,16	0,1180	0,1100	0,1080	7,39	9,09	8,23

Поскольку количество параллельных опытов при определении выходных параметров было равным трем, то в качестве  $y$ -значения в  $i$ -м опыте рассчитывалось среднее по каждому параметру.

После определения коэффициентов регрессионной модели проводилась их оценка на значимость. Для выбранного уровня значимости 0,05 и числа степеней свободы  $f_y = N(n - 1) = 13(3 - 1) = 26$  ( $n$  – число параллельных опытов) находилось табличное значение  $t$ -критерия Стьюдента, равное 2,06, и принималось решение о значимости каждого из коэффициентов регрессионной модели. После этого незначимые коэффициенты отбрасывались, а величины значимых коэффициентов пересчитывались по формуле (2).

В результате проведенных вычислений был определен окончательный вид регрессионной модели.

Регрессионная модель предела прочности при статическом изгибе имеет вид:

– в нормализованных обозначения факторов:

$$\sigma_n(x_1, x_2, x_3) = 12,80 + 2,67x_1 + 1,86x_2 - 3,77x_3^2 + 1,46x_1x_2 - 1,92x_1x_3 - 1,20x_2x_3 \quad (3)$$

– в натуральных обозначения факторов:

$$\sigma_n(T, Q, \tau) = -73,55 + 0,12T - 0,11Q + 391,10\tau - 377,35\tau^2 + 0,01TQ - 0,55T\tau - 2,99Q\tau \quad (4)$$

Регрессионная модель предела прочности при растяжении перпендикулярно пласти дана ниже:

– в нормализованных обозначения факторов:

$$\sigma_p(x_1, x_2, x_3) = 0,38 + 0,03x_1 + 0,07x_2 + 0,08x_3 - 0,08x_1^2 - 0,13x_1x_3 + 0,10x_2x_3 \quad (5)$$

– в натуральных обозначения факторов:

$$\sigma_p(T, Q, \tau) = -2,71 + 0,04T - 0,07Q + 2,95\tau - 0,69 \cdot 10^{-4} T^2 - 0,04T\tau + 0,25Q\tau \quad (6)$$

Регрессионная модель количества выделения формальдегида в процессе прессования имеет вид:

– в нормализованных обозначения факторов:

$$\varphi(x_1, x_2, x_3) = 8,59 + 6,60x_1 + 1,91x_2 + 2,87x_3 - 1,59x_3^2 + 1,86x_1x_3 + 0,88x_2x_3 \quad (7)$$

– в натуральных обозначения факторов:

$$\varphi(T, Q, \tau) = -17,16 + 0,23 \cdot 10^{-2} T - 0,30Q + 26,59\tau - 158,92\tau^2 + 0,53T\tau - 2,21Q\tau \quad (8)$$

Каждая из построенных регрессионных моделей проверялась на адекватность по критерию Фишера, которая подтверждалась.

**Анализ результатов.** На основе полученных регрессионных моделей (4), (6), (8) были построены по-

верхности отклика (рис. 1–3). При этом один из факторов фиксировался на основном уровне. Помимо поверхности отклика, отражающей на рис. 1 зависимость (4), на нем представлена плоскость  $\sigma_{и} = 11$  МПа, соответствующая минимально допустимому пределу прочности при статическом изгибе для плит марки Р2 толщиной 13–20 мм.

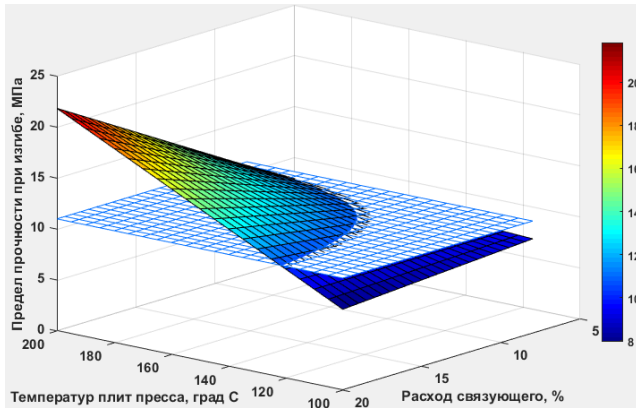


Рис. 1. Предел прочности при статическом изгибе (при  $\tau = 0,35$  мин/мм)

На рис. 2, кроме поверхности отклика, для зависимости (6) дана плоскость  $\sigma_p = 0,35$  МПа, соответствующая минимально допустимому пределу прочности при растяжении перпендикулярно пласти для плит марки Р2 толщиной 13–20 мм.

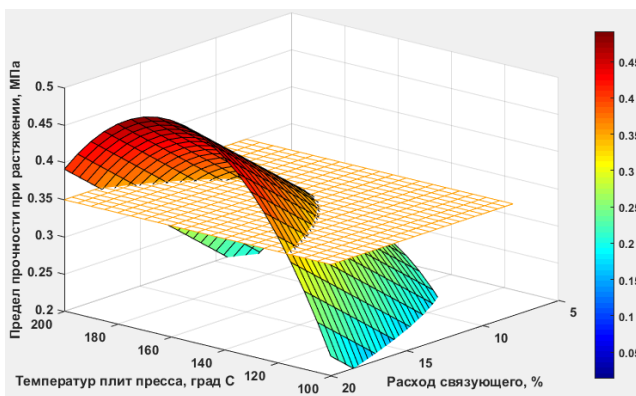


Рис. 2. Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти (при  $\tau = 0,35$  мин/мм)

На рис. 3 представлены поверхность отклика для зависимости (8) и плоскость  $\phi = 7$  мг на 100 г абсолютно сухой плиты.

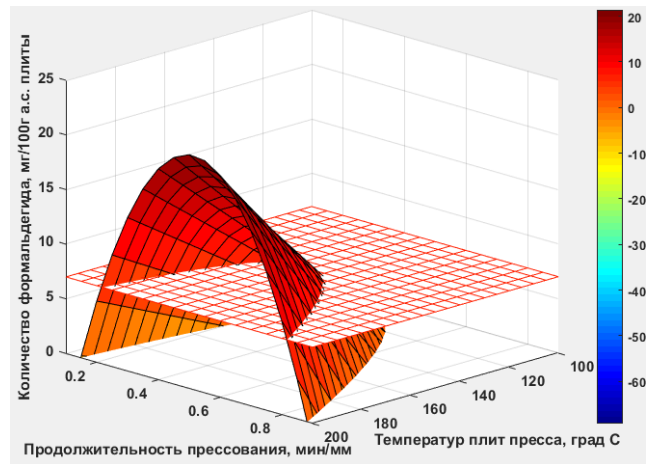


Рис. 3. Количество выделения формальдегида в процессе прессования (при  $Q = 14\%$ )

Выбор оптимальных режимов производился с учетом требований ГОСТа по выходным параметрам: предел прочности при изгибе  $\sigma_{и} \geq 11$  МПа, предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти  $\sigma_p \geq 0,35$  МПа, количество выделения формальдегида  $\phi \geq 7$  мг на 100 г абсолютно сухой плиты. Для поиска таких режимов использовались возможности математического пакета *Mathcad* [20]. При этом для каждой из зависимостей (3), (5) и (7) строилась целевая функция от трех переменных, которую минимизировали при соблюдении ряда общих условий:

$$\begin{aligned} -1 \leq x_1 \leq 1, \\ -1 \leq x_2 \leq 1, \\ -1 \leq x_3 \leq 1, \end{aligned}$$

и для каждой из зависимостей (3), (5), (7) соответственно условия:

$$\begin{aligned} \sigma_{и} &\geq 11, \\ \sigma_p &\geq 0,35, \\ \phi &\geq 7. \end{aligned}$$

В результате проведенных вычислений были получены оптимальные параметры режима прессования древесно-стружечных плит, представленные в табл. 7.

Таблица 7. Расчетные значения режима прессования древесно-стружечных плит

Выходной параметр	Температура плит пресса, °С		Расход связующего, %		Продолжительность прессования, мин/мм	
	$x_1$	$T$	$x_2$	$Q$	$x_3$	$\tau$
Предел прочности при статическом изгибе	-0,525	136,625	-0,365	12,540	0	0,350
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти	-0,084	152,060	-0,178	13,288	-0,210	0,329
Количество выделения формальдегида	-0,192	148,280	-0,056	13,776	-0,084	0,342

На основе анализа данных, отраженных в табл. 7, рекомендуется следующий режим прессования древесно-стружечных плит для облицовывания CLT-панелей: температура плит пресса  $T = 135-150$  °С, расход связующего (по сухому остатку)  $Q = 12,5-13,5$  %, продолжительность прессования  $\tau = 0,33-0,35$  мин/мм.

**Заключение.** По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) деревянное домостроение имеет тенденцию к развитию от малоэтажного к многоэтажному. Этому во многом способствовало применение в строительстве CLT-панелей;

2) для уменьшения веса таких панелей при облицовывании их древесно-стружечными плитами целесообразно, на наш взгляд, изготавливать плиты, имеющие минимально допустимую прочность при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно плоскости (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий);

3) разработаны регрессионные модели, характеризующие влияние основных факторов процесса на минимально допустимые прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно плоскости (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий);

4) для поиска оптимальных уровней факторов, обеспечивающих получение плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности при стати-

ческом изгибе и растяжении перпендикулярно пласти (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий), использовались возможности математического пакета *Mathcad*;

5) рекомендуется следующий режим прессования древесно-стружечных плит для облицовывания CLT-панелей: температура плит пресса  $T = 135-150$  °С, расход связующего (по сухому остатку)  $Q = 12,5-13,5$  %, продолжительность прессования  $\tau = 0,33-0,35$  мин/мм;

6) применение древесно-стружечных плит, изготовленных по рекомендуемому режиму (после соответствующей производственной проверки), для облицовывания CLT-панелей позволит сделать их менее материалоёмкими и уменьшить нагрузку на фундамент.

#### Литература

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.: утв. распоряжением Правительства РФ № 312-р от 01.02.2021 // Доступ из справ.- правовой системы «Гарант». URL: <http://www.garant.ru> (дата обращения: 16.03.2023).
2. Вилин И. «Дом дальневосточника» - наш новый проект // 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. Рябухин П.Б. Экономико-математическое моделирование оценки эффективности деятельности предприятий лесопромышленного комплекса // Системы. Методы. Технологии. 2020. № 4 (48). С. 139-144.
5. Исаев С.П., Еренков О.Ю. Совершенствование технологии стенового материала малоэтажного домостроения // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2020. № 3. С. 12-15.
6. Бойтемирова И.Н., Давыдова Е.А. CLT-панели - эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий // Вестн. науч. конференций. 2016. № 12-1 (16). С. 18-21.
7. Harris R. Cross laminated timber // Wood Composites. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2015. P. 141-167.
8. Пономарев А.Н., Рассохин А.С. Гибридные древесно-полимерные композиты в строительстве // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 8 (68). С. 45-57.
9. Stanic A., Hudobovnik B., Brank. B. Economic-design optimization of cross laminated timber plates with ribs // Composite Structure. 2016. V. 154 (5). P. 527-537.
10. Федорев А.В., Лысякова Е.И., Набока А.А., Зимин С.С. Характеристика современных видов панелей в малоэтажном строительстве // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 6 (33). С. 62-73.
11. Saavedra Flores E.I., Ajaj R.M., Dayyani I., Chandra Y., Das R. Multi-scale model updating for the mechanical properties of cross-laminated timber // Computers & Structures. 2016. V. 177. P. 83-90.
12. Buka-Vaivade K., Serdjuku D., Goremikins V., Vilguts A., Pakrastins L. Experimental verification of design procedure for elements from cross-laminated timber // Procedia Engineering. 2017. V. 172. P. 1212-1219.
13. Davids W.G., Willey N., Lopez-Anido R., Shaler S., Gardner D., Edgar R., Tajvidi M. Structural performance of hybrid SPFs-LSL cross-laminated timber panels // Construction and Building Materials. 2017. V. 149. P. 156-163.
14. Sharifnia H., Hindman D.P. Effect of manufacturing parameters on mechanical properties of southern yellow pine cross

laminated timbers // Construction and Building Materials. 2017. V. 156. P. 314-320.

15. Wiesner F., Randmael F., Wan W., Bisby L., Hadden R.M. Structural response of cross-laminated timber compression elements exposed to fire // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 56-67.
16. Шварцман Г.М., Щедро Д.А. Производство древесно-стружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1987. 320 с.
17. Справочник для учета лесных ресурсов Дальнего Востока / отв. сост. В.Н. Корякин. Хабаровск: Изд-во ФГУ ДНИИЛХ, 2010. 527 с.
18. Пижурин А.А., Пижурин А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: МГУЛ, 2004. 375 с.
19. Пижурин А.А., Розенблит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.
20. Кудрявцев Е.М. Mathcad 11: полное руководство по русской версии. М.: ДМК Пресс, 2005. 592 с.

#### References

1. The strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030: utv. rasporyazheniem Pravitel'stva RF № 312-r ot 01.02.2021 // Dostup iz sprav.- pravovoj sistemy «Garant». URL: <http://www.garant.ru> (data obrashcheniya: 16.03.2023).
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. Ryabuhin P.B. Economic and mathematical modeling of performance evaluation of timber industry enterprises // Systems. Methods. Technologies. 2020. № 4 (48). P. 139-144.
5. Isaev S.P., Erenkov O.YU. Technology improvement of wall material for low-rise house building // Remont, Vostanovlenie, Modernizatsiya (Repair, Reconditioning, Modernization). 2020. № 3. P. 12-15.
6. Bojtemirova I.N., Davydova E.A. CLT-panels - an effective wood material for load-bearing and enclosing structures of buildings // Bulletin of Scientific Conferences. 2016. № 12-1 (16). P. 18-21.
7. Harris R. Cross laminated timber // Wood Composites. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2015. P. 141-167.
8. Ponomarev A.N., Rassohin A.S. Hybrid wood-polymer composites in civil engineering // Magazine of Civil Engineering. 2016. № 8 (68). P. 45-57.
9. Stanic A., Hudobovnik B., Brank. B. Economic-design optimization of cross laminated timber plates with ribs // Composite Structure. 2016. V. 154 (5). P. 527-537.

10. Fedorec A.V., Lysyakova E.I., Naboka A.A., Zimin S.S. Characteristics of modern types of panels in low-rise building // Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. № 6 (33). P. 62-73.
11. Saavedra Flores E.I., Ajaj R.M., Dayyani I., Chandra Y., Das R. Multi-scale model updating for the mechanical properties of cross-laminated timber // Computers & Structures. 2016. V. 177. P. 83-90.
12. Buka-Vaivade K., Serdjuks D., Goremikins V., Vilguts A., Pakrastins L. Experimental verification of design procedure for elements from cross-laminated timber // Procedia Engineering. 2017. V. 172. P. 1212-1219.
13. Davids W.G., Willey N., Lopez-Anido R., Shaler S., Gardner D., Edgar R., Tajvidi M. Structural performance of hybrid SPFs-LSL cross-laminated timber panels // Construction and Building Materials. 2017. V. 149. P. 156-163.
14. Sharifnia H., Hindman D.P. Effect of manufacturing parameters on mechanical properties of southern yellow pine cross laminated timbers // Construction and Building Materials. 2017. V. 156. P. 314-320.
15. Wiesner F., Randmael F., Wan W., Bisby L., Hadden R.M. Structural response of cross-laminated timber compression elements exposed to fire // Fire Safety Journal. 2017. V. 91. P. 56-67.
16. SHvarcman G.M., SHCHedro D.A. Production of wood particle boards. M.: Lesnaya prom-st', 1987. 320 p.
17. Guide for accounting of the Russian Far East forest resources / otv. sost. V.N. Koryakin. Habarovsk: Izd-vo FGU DNILH, 2010. 527 p.
18. Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. Modeling and optimization of woodworking processes. M.: MGUL, 2004. 375 p.
19. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. The researches of woodworking processes. M.: Lesnaya prom-st', 1984. 232 p.
20. Kudryavcev E.M. Mathcad 11: complete guide to the Russian version. M.: DMK Press, 2005. 592 p.