

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39>**РАЗРАБОТКА РЕЖИМА СКЛЕИВАНИЯ ОБЛИЦОВОЧНЫХ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ИЗ
БЕРЕЗЫ РЕБРИСТОЙ ДЛЯ CLT-ПАНЕЛЕЙ**

Научная статья

Бегунков О.И.^{1,*}, Бегункова Н.О.²¹ORCID : 0000-0002-5046-4212;²ORCID : 0000-0001-5069-9604;^{1,2}Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (olegbeg[at]mail.ru)

Аннотация

Эксплуатационный запас березы ребристой на Дальнем Востоке составляет порядка 183 млн м³. Заготовка древесины березы ребристой убыточна из-за поражения ее ложным ядром и гнилью. Выход деловой древесины с увеличением диаметра уменьшается с 95,7 до 11,3%. Одно из возможных решений, способствующих увеличению рентабельности ее заготовки, – производство древесно-стружечных плит, имеющих минимально допустимые показатели прочности. Использование таких плит для облицовывания CLT-панелей, применяемых в деревянном домостроении, будет способствовать повышению спроса на данные плиты. В статье обосновывается режим склеивания древесно-стружечных плит из древесины березы ребристой, имеющих минимально допустимые показатели прочности.

Ключевые слова: береза ребристая, древесно-стружечная плита, CLT-панель.**DEVELOPING A GLUING REGIME FOR BETULA COSTATA CHIPBOARD CLADDING BOARDS FOR CLT
PANELS**

Research article

Begunkov O.I.^{1,*}, Begunkova N.O.²¹ORCID : 0000-0002-5046-4212;²ORCID : 0000-0001-5069-9604;^{1,2}Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (olegbeg[at]mail.ru)

Abstract

The exploitable stock of *Betula costata* in the Far East is about 183 million m³. *Betula costata* timber harvesting is unprofitable due to its infestation with false kernel and rot. With increasing diameter, the yield of merchantable wood decreases from 95.7% to 11.3%. One possible solution to increase the profitability of timber procurement is to produce chipboard with a minimum of acceptable strength. The use of such boards for cladding CLT panels used in timber housing construction would increase the demand for these boards. The article substantiates the bonding regime of *Betula costata* wood chipboard with minimum strength values.

Keywords: *Betula costata*, chipboard, CLT panel.**Введение**

Наиболее распространенной породой на Дальнем Востоке является береза ребристая, на долю которой приходится 30,5% всех запасов лиственных пород этого региона. Эксплуатационный запас березы ребристой на Дальнем Востоке составляет порядка 183 млн м³. Освоение и использование этой породы тормозится ее высокой фаутичностью.

Основным пороком древесины берез, в том числе и березы ребристой, является ложное ядро. Установлено, что у 72% хлыстов наблюдается наличие гнилей разной степени развития [1], [2]. Причем размер гнили и степень ее развития увеличивается с возрастом и толщиной дерева. Заготовка древесины березы ребристой из-за поражения ее ложным ядром и гнилью убыточна, поэтому, хотя и отводится в рубку ежегодно около 500 тыс. м³ березы ребристой, вырубается ее практически незначительное количество. Выход деловой древесины с увеличением диаметра изменяется от 95,7% для группы диаметров 16-22 см до 11,3% для группы диаметров 56-62 см.

Возможный ежегодный объем заготовки может составлять 210 тыс. м³ для юга Хабаровского края. Одним из возможных направлений использования отходов древесины березы ребристой может быть организация производства древесно-стружечных плит. Однако здесь следует иметь в виду, что по физико-механическим свойствам береза ребристая близка к древесине твердых лиственных пород (ясеню, буку, клену и др.). Из такой древесины получают менее прочные плиты [3].

Сегодня производство многоэтажных деревянных домов базируется на использовании CLT-панелей [4], что делает необязательным наличие при строительстве несущих каркасов и других силовых элементов. Поэтому при использовании для облицовывания CLT-панелей древесно-стружечных плит от них не требуется высокой прочности. Достаточно, чтобы они соответствовали минимальным нормативным показателям соответствующих ГОСТов. Выпуск таких плит позволит, на наш взгляд, повысить эффективность заготовки березы ребристой и с этих позиций тема является актуальной.

Методы и принципы исследования

Цель настоящей работы – разработка режима склеивания древесно-стружечных плит из березы ребристой с минимально допустимыми нормативными показателями. В качестве выходных параметров приняты показатели: предел прочности $\sigma_{и}$ при статическом изгибе по ГОСТ 10635-88 [5]; предел прочности $\sigma_{р}$ при растяжении перпендикулярно пласти по ГОСТ 10636-2018 [6]; количество выделения формальдегида ϕ в процессе прессования. В эксперименте использовались методы многофакторного планирования с применением плана Бокса-Бенкина.

На основании анализа априорной информации [7], [8] в качестве переменных были приняты три фактора: температура плит пресса, расход связующего и продолжительность прессования [7]. Значения постоянных факторов эксперимента даны в таблице 1. Переменные факторы эксперимента и уровни их варьирования представлены в таблице 2.

Таблица 1 - Постоянные факторы эксперимента
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.1>

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

Таблица 2 - Переменные факторы и уровни их варьирования
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.2>

Наименование фактора	Обозначение		Уровень варьирования фактора		
	натуральное	нормализованное	нижний (-)	основной (0)	верхний (+)
Температура плит пресса, °С	T	x_1	120	155	190
Расход связующего, %	Q	x_2	10	14	18
Продолжительность прессования, мин/мм	τ	x_3	0,25	0,35	0,45

Фракционный состав и размеры стружки приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Структура древесных частиц для древесно-стружечных плит
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.3>

Наименование	Состав по фракциям, %								
	4/20	2,5/20	5,5	4,5	3,75	3,25	1	0,25	дно
Древесные частицы из березы	1,51	16,7	4,57	6,86	9,95	9,3	46,63	5,36	1,12
Размеры древесных частиц, мм	длина – до 40; ширина – 3...12; толщина – до 0,45								
Влажность древесных частиц, %	2 ± 1								

Все определяемые механические показатели прочности плит приводились к единой плотности 700 кг/м³ по формулам [3].

Количественное определение выделений формальдегида определяли в соответствии с ГОСТ 27678-2014 [9]. План эксперимента с результатами приведены в таблице 4.

Таблица 4 - План эксперимента с результатами
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.4>

№ 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	14,39	15,03	14,98	0,45	0,49	0,47	151,51	127,97	115,45
2	10	-1	-1	0	8,16	8,71	8,58	0,06	0,04	0,02	6,88	7,21	5,11
3	7	1	1	0	17,60	18,39	18,26	0,48	0,45	0,43	162,42	192,72	198,77
4	11	-1	-1	0	10,56	11,48	11,42	0,44	0,43	0,42	19,26	23,02	19,80
5	8	1	0	-1	18,28	18,33	18,96	0,44	0,47	0,51	86,71	98,34	90,37
6	12	-1	0	-1	6,18	5,24	6,38	0,02	0,03	0,03	0,65	1,40	0,76
7	9	1	0	1	15,58	15,55	15,53	0,50	0,48	0,50	165,83	165,59	180,34
8	13	-1	0	1	13,86	13,46	13,71	0,53	0,55	0,53	30,54	22,06	20,56
9	1	0	-1	-1	12,28	12,41	12,67	0,33	0,35	0,35	32,45	54,74	33,68
10	2	0	1	-1	17,56	18,00	17,78	0,45	0,45	0,45	80,74	84,08	75,50
11	4	0	-1	1	12,45	11,37	12,58	0,38	0,41	0,41	47,23	61,54	39,28
12	3	0	1	1	14,94	16,04	15,82	0,48	0,54	0,58	133,89	131,76	141,34
13	5	0	0	0	17,07	16,46	17,05	0,51	0,52	0,53	58,98	73,94	75,88

Основные результаты

Для исследования связи между переменными факторами из таблицы 2 и показателями из таблицы 4 использовались регрессионные поверхности отклика второго порядка для трех непрерывных предикторов. Полученные по данным таблицы 4 поверхности отклика описываются следующими зависимостями:

- предел прочности при статическом изгибе:

$$\sigma_u(T, Q, \tau) = -117,22 + 0,85T + 2,4Q + 239,3\tau - 0,16 \cdot 10^{-2}T^2 - 0,05Q^2 - 149,11\tau^2 - 0,76T\tau - 1,16Q\tau \quad (1)$$

- предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти:

$$\sigma_p(T, Q, \tau) = -5,62 + 0,04T + 0,12Q + 9,55\tau - 0,74 \cdot 10^{-4}T^2 - 0,26 \cdot 10^{-2}Q^2 - 4,7\tau^2 - 2,59 \cdot 10^{-4}TQ - 0,03T\tau \quad (2)$$

- количество выделенного формальдегида во время прессования:

$$\varphi(T, Q, \tau) = 199,44 + 0,31T - 31,92Q - 810,87\tau + 1,01Q^2 + 3,95T\tau + 29,06Q\tau \quad (3)$$

Полученные зависимости адекватно описывают исследуемые процессы. Помимо этого, данные зависимости позволили получить графическую интерпретацию регрессионных поверхностей отклика при фиксации одного из факторов. На рисунках 1 и 2 приведены поверхности отклика, отражающие при постоянной продолжительности прессования $\tau = 0,35$ мин/мм пределы прочности при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти в зависимости от температуры плит пресса и расхода связующего. Для наглядности каждую из этих поверхностей пересекают плоскости $\sigma = 11$ МПа и $\sigma_p = 0,35$ МПа, представляющие минимально допустимые

показатели пределов прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно пласти для плит марки Р2 толщиной 13-20 мм.

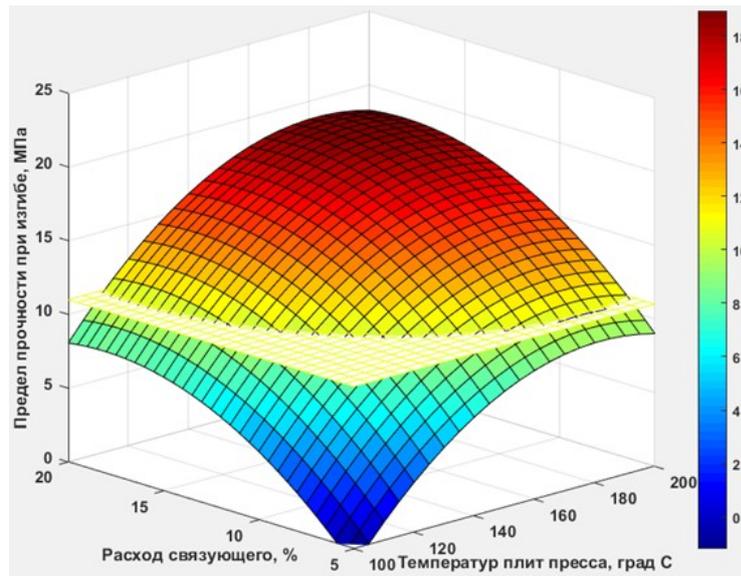


Рисунок 1 - Предел прочности при статическом изгибе
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.5>

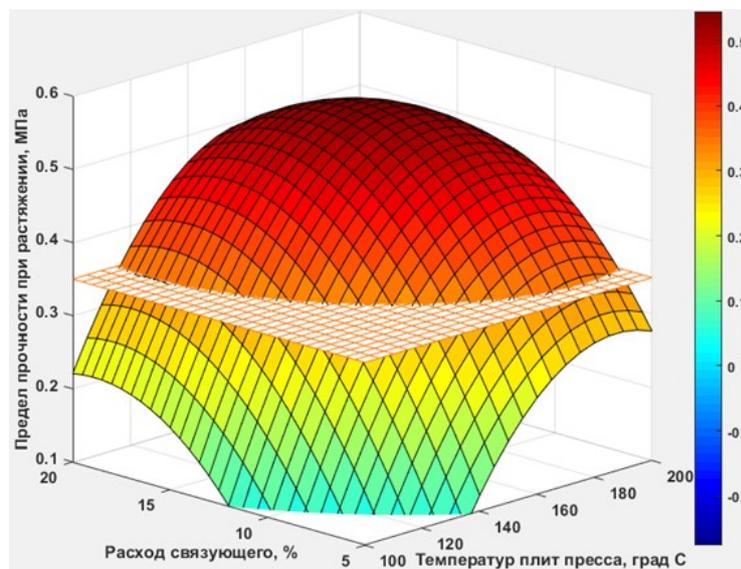


Рисунок 2 - Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.6>

Нахождение наиболее оптимальных режимов прессования древесно-стружечных плит осуществлялось в пакете Mathcad [10] путем определения условного экстремума целевой функции нескольких переменных при соблюдении пределов изменения нормализованных факторов x_1 , x_2 , x_3 и требований ГОСТов [5], [6] по минимально допустимым показателям пределов прочности при статическом изгибе ($\sigma_{и} \geq 11$ МПа) и растяжении перпендикулярно пласти ($\sigma_p \geq 0,35$ МПа), а также количества выделяемого формальдегида ($\phi \geq 7$ мг на 100 г абсолютно сухой плиты). Первоначально для каждого из данных показателей задавались начальные приближения нормализованных факторов x_1 , x_2 , x_3 . Затем после описания целевой функции, соответствующей показателю, формировался вычислительный блок, который начинается с ключевого слова Given и включает условия, задающие следующие ограничения: минимально допустимое значение функции и интервал изменения значений нормализованных факторов x_1 , x_2 , x_3 . На заключительном шаге применялась функция Minimize, возвращающая необходимые значения нормализованных факторов x_1 , x_2 , x_3 , которые удовлетворяют заданным в вычислительном блоке ограничениям и обеспечивают минимально допустимое значение целевой функции. Полученные в результате описанных вычислений расчетные значения режима прессования древесно-стружечных плит приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Режим прессования древесно-стружечных плит
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.133.39.7>

Выходной параметр	Температура плит пресса, °С		Расход связующего, %		Продолжительность прессования, мин/мм	
	x_1	T	x_2	Q	x_3	τ
Предел прочности при статическом изгибе	-0,937	122,205	-0,556	11,776	-0,018	0,348
Предел прочности при растяжении перпендикулярно пласти	-0,510	137,150	-0,256	12,976	-0,492	0,301
Количество выделения формальдегида	-0,935	122,275	-0,412	12,352	-0,329	0,317

Анализ данных таблицы 5 позволяет в первом приближении рекомендовать следующий режим прессования древесно-стружечных плит из березы ребристой для облицовывания CLT-панелей: продолжительность прессования $\tau = 0,30-0,35$ мин/мм; расход связующего (по сухому остатку) $Q = 12,0-13,0\%$; температура плит пресса $T = 122-137^\circ\text{C}$.

Заключение

Определенным вкладом в повышение рентабельности заготовки березы ребристой может быть расширение производства древесно-стружечных плит из березы ребристой. Такие плиты, имеющие минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе и при растяжении перпендикулярно пласти (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий) и меньший вес, могут быть успешно использованы для облицовывания CLT-панелей.

Полученные регрессионные поверхности отклика отражают влияние основных технологических факторов на минимально допустимые показатели прочности при статическом изгибе и растяжении перпендикулярно плоскости (при минимальном содержании формальдегида для выбранных условий). Применение современных средств автоматизации инженерных расчетов, в частности математического приложения Mathcad, позволило вычислить оптимальные диапазоны изменения технологических факторов режима получения таких плит.

Для производства подобных плит могут быть рекомендованы следующие режимы: температура плит пресса $T = 122-137^\circ\text{C}$, расход связующего (по сухому остатку) $Q = 12,0-13,0\%$, продолжительность прессования $\tau = 0,30-0,35$ мин/мм.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Домницкий В.Ф. Некоторые вопросы промышленного использования древесины лиственных пород на Дальнем Востоке / В.Ф. Домницкий, О.И. Бегунков, В.К. Чукоэн // Экономика комплексного освоения лесных ресурсов Дальнего Востока: сборник научных трудов; — Владивосток: Изд-во ДВНЦ АН СССР, 1985. — с. 65-70.
2. Бегунков О.И. Исследование общего состояния древесины березы ребристой с грибными поражениями / О.И. Бегунков, Н.О. Бегункова // Актуальные проблемы лесного комплекса: сборник научных трудов; под ред. Памфилова Е.А. — Вып. 56. — Брянск: БГИТУ, 2020. — с. 103-106.
3. Шварцман Г.М. Производство древесностружечных плит / Г.М. Шварцман, Д.А. Щедро. — М.: Лесная промышленность, 1987. — 320 с.
4. Бойтемирова И.Н. CLT-панели – эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий. / И.Н. Бойтемирова, Е.А. Давыдова // Вестник научных конференций. — 2016. — № 12-1(16). — с. 18-21. — DOI: 10.17117/cn.2016.12.01
5. ГОСТ 10635-88. Плиты древесностружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе — Введ. 1990-01-01. — М.: Издательство стандартов, 1989. — 7 с.
6. ГОСТ 10636-2018. Плиты древесно-стружечные и древесно-волоконистые. Метод определения предела прочности при растяжении перпендикулярно к пласти плиты. — Введ. 2019-04-01. — М.: Стандартинформ, 2018. — 8 с.
7. Пижурин А.А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. — М.: МГУЛ, 2004. — 375 с.

8. Пижурин А.А. Исследования процессов деревообработки / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. — М.: Лесная промышленность, 1984. — 232 с.
9. ГОСТ 27678-2014. Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида. — Введ. 2016-01-01. — М.: Стандартинформ, 2015. — 13 с.
10. Кудрявцев Е.М. Mathcad 11: Полное руководство по русской версии / Е.М. Кудрявцев — М.: ДМК Пресс, 2005. — 592 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Domnitskii V.F. Nekotore voprosi promishlennogo ispolzovaniya drevesini listvennikh porod na Dalnem Vostoke [Some Issues of Industrial Use of Hardwood at the Russian Far East] / V.F. Domnitskii, O.I. Begunkov, V.K. Chukoen // Economics of Integrated Development of Forest Resources of the Russian Far East: collection of scientific papers; — Vladivostok: Publishing House of Far Eastern Scientific Center of the Academy of Sciences of the USSR, 1985. — p. 65-70. [in Russian]
2. Begunkov O.I. Issledovanie obshchego sostoyaniya drevesini berezi rebristoi s gribnimi porazheniyami [An Investigation of the General Condition of Ribbed Birch Wood with Fungal Damages] / O.I. Begunkov, N.O. Begunkova // Actual Problems of the Forest Complex: collection of scientific papers; edited by Pamfilov Ye.A. — Issue 56. — Bryansk: BSETU, 2020. — p. 103-106. [in Russian]
3. Shvartsman G.M. Proizvodstvo drevesnostruzhechnikh plit [Production of Particle Boards] / G.M. Shvartsman, D.A. Shchedro. — М.: Forestry, 1987. — 320 p. [in Russian]
4. Bojtemirova I.N. CLT-paneli – e'ffektivny'j material iz drevesiny' dlya nesushhix i ograzhdayushhix konstrukcij zdaniy [CLT-panels – an Effective Wood Material for Load-bearing and Enclosing Structures of Buildings]. / I.N. Bojtemirova, E.A. Davy'dova // Vestnik nauchny'x konferencij [Bulletin of Scientific Conferences]. — 2016. — № 12-1(16). — p. 18-21. — DOI: 10.17117/cn.2016.12.01 [in Russian]
5. GOST 10635-88. Pliti drevesnostruzhechnie. Metodi opredeleniya predela prochnosti i modulya uprugosti pri izgibe [GOST10635-88. Particle boards. Methods for determining of ultimate strength and modulus of elasticity in bending] — Introduced 1990-01-01. — М.: Standards Publishing, 1989. — 7 p. [in Russian]
6. GOST 10636-2018. Plity' drevesno-struzhechny'e i drevesno-voloknisty'e. Metod opredeleniya predela prochnosti pri rastyazhenii perpendikulyarno k plasti plity' [GOST 10636-2018. Wood-shaving and wood-fiber plates. Strength definition method at stretching perpendicularly plate layer]. — Introduced 2019-04-01. — М.: Standartinform, 2018. — 8 p. [in Russian]
7. Pizhurin A.A. Modelirovanie i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki [Modeling and Optimization of Woodworking Processes] / A.A. Pizhurin, A.A. Pizhurin. — М.: Publishing House of Moscow State Forest University, 2004. — 375 p. [in Russian]
8. Pizhurin A.A. Issledovaniya protsessov derevoobrabotki [The Researches of Woodworking Processes] / A.A. Pizhurin, M.S. Rozenblit. — М.: Forestry, 1984. — 232 p. [in Russian]
9. ГОСТ 27678-2014. Plity' drevesny'e i fanera. Perforatorny'j metod opredeleniya soderzhaniya formal'degida [GOST 27678-2014. Wood-based panels and plywood. Perforatory method for determination of formaldehyde content]. — Introduced 2016-01-01. — М.: Standartinform, 2015. — 13 p. [in Russian]
10. Kudryavcev E.M. Mathcad 11: Polnoe rukovodstvo po russkoj versii [Mathcad 11: Complete guide to the Russian version] / E.M. Kudryavcev — М.: ДМК Пресс, 2005. — 592 p. [in Russian]