Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2024, Том 16, № 2 / 2024, Vol. 16, Iss. 2 https://esj.today/issue-2-2024.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/36SAVN224.pdf

2.1.5. Строительные материалы и изделия (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Бызов, В. Е. Исследование прочностных характеристик деревокомпозитных балок из ламелей радиального способа распиловки / В. Е. Бызов, В. И. Мелехов, А. С. Торопов // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 2. — URL: https://esj.today/PDF/36SAVN224.pdf

For citation:
Byzov V.E., Melekhov V.I., Toropov A.S. Study of the strength characteristics of wood-composite beams from lamellas of the radial sawing method. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(2): 36SAVN224. Available at: https://esj.today/PDF/36SAVN224.pdf. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 674-06

Бызов Виктор Евгеньевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица», Санкт-Петербург, Россия
Доцент кафедры «Интерьер и оборудование»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: mapana@inbox.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=514337

Мелехов Владимир Иванович
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», Архангельск, Россия
Профессор кафедры «Лесопромышленных производств и обработки материалов»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: hseng@narfu.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=381661

Торопов Александр Степанович
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет», Йошкар-Ола, Россия
Руководитель научной школы
Доктор технических наук, профессор
E-mail: Toropov_A_S@mail.ru
РИНЦ: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=495847

Исследование прочностных характеристик деревокомпозитных балок из ламелей радиального способа распиловки

Аннотация. Авторами представлены результаты исследований по определению прочностных характеристик деревокомпозитных балок. Полученные результаты являются частью диссертационного исследования. Балки изготовлены из ламелей радиального и тангенциального способа распиловки. В статье приведен сравнительный анализ показателей прочности и упругости балок из радиальных и тангенциальных ламелей. Значения показателей прочности и упругости балок определены в результате разрушающих испытаний образцов деревокомпозитных балок при поперечном статическом изгибе. Балки склеены из четырех ламелей. Перед проведением испытаний была проведена паспортизация образцов в целях определения величины угла наклона элементов годичных слоев к широкой стороне каждой из ламелей и значений ширины годичных колец древесины ламелей. Проведен статистический анализ предела прочности и модуля упругости древесины образцов деревокомпозитных балок.

Статистический анализ проведен на основании соответствия распределения показателей прочности и модуля упругости нормальному закону распределения. Выполнен регрессионный анализ связи показателей прочности и упругости со значениями угла наклона волокон и шириной годичных слоев древесины в ламелях. В качестве параметра угла наклона годичных слое при проведении регрессионного анализа принято значение угла наклона годичных слоев в максимально растянутой ламели. Проведен сравнительный анализ нормативных сопротивлений пределов временной прочности деревокомпозитных балок из радиальных ламелей и деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей. В результате анализа установлено, что деревокомпозитные балки из радиальных ламелей прочнее балок из тангенциальных панелей на 14 %. Таким образом, применение в растянутой зоне деревокомпозитных балок ламелей радиального способа распиловки позволит снизить древесиноемкость конструкций.

Ключевые слова: прочностные характеристики; деревокомпозитные балки; поперечный статический изгиб; радиальные ламели; тангенциальные ламели; угол наклона годичных слоев древесины; ширина годичных слоев древесины

Введение

Работа является частью диссертационного исследования. Деревокомпозитные балки из древесины хвойных пород находят широкое применение в жилищном и сельскохозяйственном строительстве [1]. В частности, их применяют в конструкциях перекрытий зданий и сооружений из древесины. Как правило балки в конструкциях испытывают напряженно-деформированное состояние поперечного изгиба [2; 3]. В соответствие с требованиями нормативно-технической документации балки должны обладать необходимыми прочностными характеристиками. Критическим свойством, определяющим возможность их применения в конструкциях, является прочность при поперечном изгибе [4]. Существенным свойством, влияющим на возможность применения клееных балок, является модуль упругости древесины.

Деревокомпозитные балки состоят из нескольких слоев массивной древесины, соединенных между собой при помощи высококачественных клеев [5]. Слои массивной древесины, из которых состоит клееная балка называются ламелями. Ламели имеют толщину 30–40 мм и соединяются между собой таким образом, чтобы годичные слои в соседних ламелях были направлены навстречу друг другу [6]. Это необходимо, чтобы компенсировать напряжения, возникающие в древесине ламелей при изменении температурно-влажностных условий окружающей среды, в которых находится клееная балка.

Однако, в существующей нормативно-технической документации не установлены требования к наклону волокон древесины в ламелях, располагающихся в различных зонах по высоте балки при поперечном изгибе. Ламели могут иметь радиальное расположение годичных слоев древесины, полурадиальное и тангенциальное. Расположение годичных слоев может оказывать различное влияние на прочностные характеристики ламелей при работе балки при поперечном изгибе. Наибольшее значение имеет прочность крайней максимально растянутой ламели с имеющимися там пороками [7]. В связи с этим она должна обладать максимальной прочностью.

Ламели в деревокомпозитной балке склеены по пласти, а нагрузка при поперечном изгибе действует в направлении перпендикулярном клеевым швам [8]. Поэтому, возможно предположить, что максимальной прочностью будут обладать ламели с углом наклона годичных слоев к пласти близким к 90°, так как они будут максимально сопротивляться изгибу. Такое расположение годичных слоев имеют радиальные ламели. Значительно меньшей прочностью будут обладать полурадиальные и тангенциальные ламели.

36SAVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Целью исследований являлось определение прочностных характеристик деревокомпозитных балок, из ламелей радиальной и тангенциальной распиловки, проведение сравнительного анализа показателей прочности и упругости балок из радиальных ламелей с показателями прочности и упругости балок из тангенциальных ламелей.

Методы исследований

Исследования провели на образцах деревокомпозитных балок с размерами поперечного сечения 90×125 мм. Балки изготовлены из древесины сосны обыкновенной (*Pinus silvestris L.*) путем склеивания четырех ламелей толщиной 32 ±0,5 мм и шириной 90 ±0,5 мм. Ламели склеивали водостойким однокомпонентным полиуретановым клеем. Для проведения исследований из деревокомпозитных балок получены образцы с размерами поперечного сечения равным поперечному сечению балок. Длина образцов составляла 1 950 ±5 мм. В ходе проведения исследований проведены испытания по определению пределов прочности и модуля упругости при поперечном изгибе. Перед проведением испытаний была проведена паспортизация образцов в целях определения величины наклона элементов годичных слоев к широкой стороне ламелей и значения ширины годичных колец древесины. Измерения угла наклона элементов годичных слоев проводили на середине ширины широкой стороны ламелей с точностью 1 градус. Угол наклона замеряли, как угол наклона касательной, проведенной к элементу годичного слоя древесины на середине ширины ламели. Ширину годичных слоев в ламели определяли на ее торцовой части ламелей. Измерение количества годичных слоев проводили на участке длиной 20 мм. По результатам паспортизации образцы были разделены на два типа. Образцы первого типа имели крайнюю максимально растянутую ламель радиального способа распиловки. Наклон элементов годичных слоев древесины к широкой стороне ламели составлял 60° и более. Образцы второго типа были имели крайнюю максимально растянутую ламель тангенциального способа распиловки. Наклон элементов годичных слоев древесины к широкой стороне ламели составлял менее 60°. Перед проведением испытаний образцов, вырезанных из деревокомпозитных балок, измерили размеры их поперечного сечения в трех точках по длине балок. Измерения проводились с точностью 0,1 мм.

Рисунок 1. *Испытательная машина со специальным приспособлением (разработано авторами)*

36SAVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Испытания образцов проведены в механической лаборатории имени Н.Н. Аистова Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Исследования проводили с применением экспериментальной установки, которая состояла из испытательной машины марки *Magnum — 2 000 kN* (Индия), верхней траверсы с нагружающими элементами и нижней траверсы с опорами (рис. 1). Основные положения, применяемые при проведении испытаний, соответствовали ГОСТ 21554.2-81 «Пиломатериалы и заготовки. Метод определения прочности при статическом изгибе» и ГОСТ 21554.1 «Пиломатериалы и заготовки. Метод определения модуля упругости при статическом изгибе».

В средней трети пролета помещались три прогибомера Аистова ПАО-4. Индикаторы размещались следующим образом. Крайние прогибомеры И1 и И3 размещались под нагружающими элементами. Центральный прогибомер И2 размещался по середине пролета балки. Нити прогибомеров крепили на середине высоты образцов.

Точность измерения прогибов прогибомером — 0,01 мм. Модуль упругости образцов определяли путем замера деформаций при воздействии нагрузки. Фиксировали показания прогибомеров через интервалы приращения нагрузки 2 кН. После достижения предела упругости снимали прогибомеры и доводили образцы до разрушения. Фиксировали разрушающую нагрузку с точностью 1Н. Определили влажность древесины образцов при помощи измерителя влажности древесины модели *DT-129*. Измерение производили как можно ближе к месту разрушения.

Результаты исследований

В результате проведения испытаний установили значения параметров прочностных характеристик деревокомпозитнх балок. В результате выполненных расчетов найдены значения предела прочности и модуля упругости образцов с точностью 0,01 ГПа. Значения предела прочности и модуля упругости, определенные во время испытаний, пересчитали к влажности 12 %.

Проверили согласие опытных распределений модуля упругости и предела прочности образцов с теоретическим нормальным распределением по критерию *S* (критерий Шапиро-Уилка) [9]. На практике различия между распределениями наиболее отчетливо выступают в области крайних значений случайной величины, для которых, как правило, почти всегда имеется мало наблюдений. Была проверена гипотеза о согласии опытных и теоретического распределения для уровня значимости 0,05. Проверка распределения пределов прочности и модуля упругости деревокомпозитных балок из радиальных ламелей показала, что распределения соответствуют теоретическим нормальным распределениям.

Результаты анализа показателей предела прочности и модуля упругости балок, из ламелей радиальной и тангенциальной распиловки приведены в таблице 1.

Таблица

Статистики прочностных характеристик деревокомпозитных балок

Тип ламелей	Показатель	Статистики опытных распределений прочностных характеристик		
		X	σ_x	$X_{0,95}$
Радиального способа распиловки	*R*, МПа	27,33	5,78	23,27
	E, ГПа	17,96	4,12	14,17
Тангенциального способа распиловки	*R*, МПа	23,79	6,09	19,92
	E, ГПа	15,90	2,85	13,43

Показатели: R — предел прочности, МПа; E — модуль упругости, ГПа; X — среднее арифметическое; σ_x — среднее квадратичное отклонение; $X_{0,95}$ — нормативное сопротивление предела прочности, МПа

36SAVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Определили степень взаимного влияния показателей прочностных характеристик балок и показателей, характеризующих эти показатели. Рассчитали коэффициенты корреляции между показателями. Выполнили расчет значений пределов прочности деревокомпозитных балок с вероятностью 0,95 (нормативное сопротивление). Расчет значений проводили в предположении, что значения пределов прочности подчиняются нормальному закону распределения.

Провели анализ регрессионных моделей связи показателей пределов прочности и параметров, характеризующих эти показатели и получили уравнения множественной регрессии для деревокомпозитных балок из ламелей радиальной распиловки и балок из ламелей тангенциальной распиловки. Нашли коэффициенты регрессионных моделей связи предела прочности с предикторами. Предикторами являются модуль упругости, наклон элементов годичных слоев древесины в ламелях деревокомпозитных балок и ширина годичных слоев древесины балок. Получено линейное регрессионное уравнение связи предела прочности деревокомпозитных балок с указанными параметрами. Коэффициенты уравнения регрессии нашли путем решения системы нормальных линейных уравнений по алгоритму метода наименьших квадратов [10].

Для проверки гипотезы о значимости уравнений регрессии провели дисперсионный анализ. Значимость проверили с применением F — критерия Фишера при значении вероятности отклонения $\alpha = 0{,}05$. Сравнили рассчитанное значение F — статистики с ее критическим значением $F_{кр}$. При этом, если расчетное значение $F > F_{кр}$, то нулевая гипотеза о незначимости уравнения регрессии в целом отклоняется, делается вывод, что уравнение регрессии в целом значимо.

Уравнение регрессионной связи предела прочности деревокомпозитных балок из радиальных ламелей ($R_р$) с модулем упругости (E), наклоном элементов годичных колец (НВ) и шириной годичных слоев (ГС) имеет вид:

$$R_р = 7{,}813 - 1{,}042 \cdot E + 0{,}037 \cdot \text{НВ} - 0{,}988 \cdot \text{ГС}.$$

Регрессионная связь предела прочности деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей ($R_т$) с параметрами, характеризующими прочность выглядит следующим образом:

$$R_т = 18{,}233 - 0{,}725 \cdot E + 0{,}117 \cdot \text{НВ} + 0{,}283 \cdot \text{ГС}.$$

Графические изображения уравнений регрессии приведены на рисунках 2 и 3.

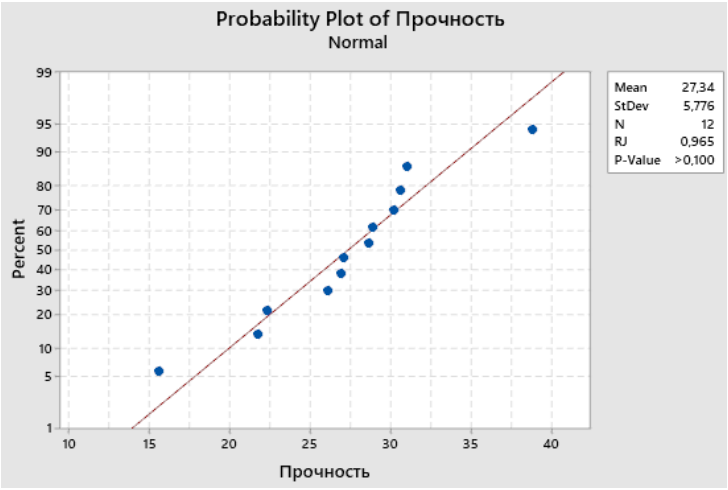

Рисунок 2. *Регрессионное уравнение связи предела прочности деревокомпозитных балок из радиальных ламелей с характеризующими его показателями (разработано авторами)*

36SAVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

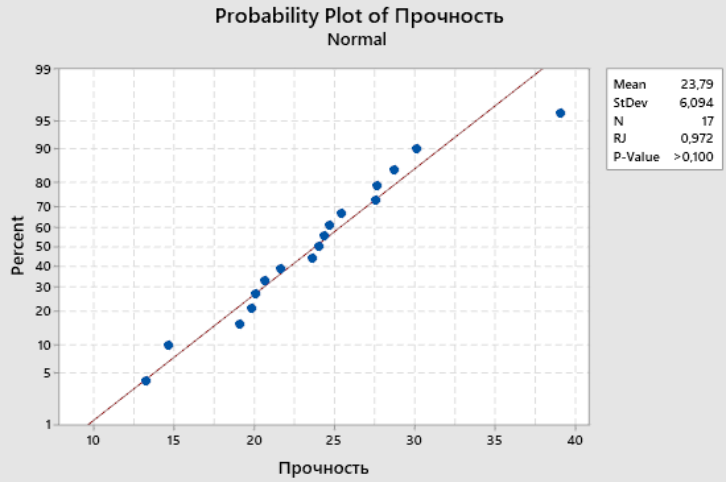

Рисунок 3. *Регрессионное уравнение связи предела прочности деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей с характеризующими его показателями (разработано авторами)*

Коэффициент множественной регрессии *R* равный 0,732 указывает на высокую степень корреляции предела прочности деревокомпозитных балок из радиальных ламелей с предикторами и коэффициент множественной регрессии равный 0,485 указывает на умеренную степень корреляции предела прочности деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей с предикторами. Значение квадрата коэффициента множественной корреляции для регрессионного уравнения связи предела прочности балок из радиальных ламелей составляет 0,536, а для балок из тангенциальных ламелей — 0,239. Это указывает, что 53,6 % предела прочности изменяется под действием предикторов и 23,9 % значений пределов прочности балок из тангенциальных ламелей изменяется под действием предикторов. Проверили гипотезу о значимости уравнений регрессии с применением *F* — критерия Фишера при значении вероятности отклонения $\alpha = 0,05$. Сравнение рассчитанного значения *F* — статистики с ее критическим значением $F_{кр}$. показало, что уравнения регрессии в целом значимы.

Провели анализ характера разрушений деревокомпозитных балок при поперечном изгибе. При анализе характера разрушений балок из радиальных ламелей установили, что разрушение произошло в нижней растянутой ламели с образованием продольной трещины (рис. 4).

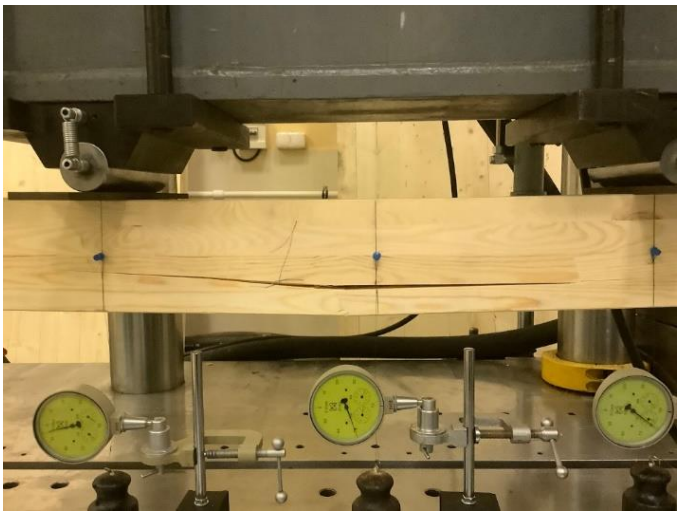

Рисунок 4. *Характер разрушения деревокомпозитных балок из радиальных ламелей (разработано авторами)*

36SAVN224
Издательство «Мир науки» \ Publishing company «World of science» http://izd-mn.com

Характер разрушения деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей показывает, что у балки происходит разрыв нижней растянутой ламели или образования нескольких продольных трещин (рис. 5).

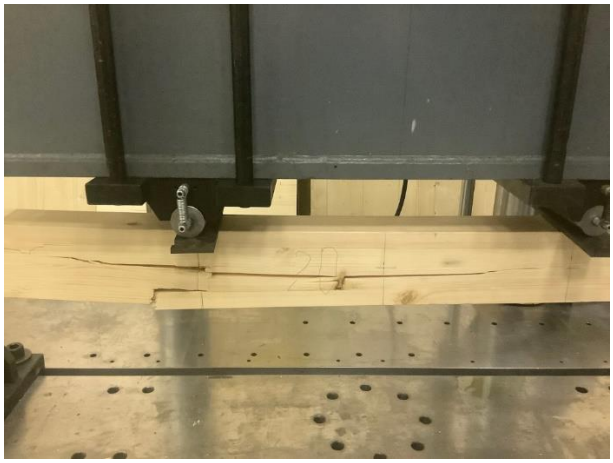

Рисунок 5. *Характер разрушения деревокомпозитных балок из тангенциальных ламелей (разработано авторами)*

Выводы

В результате исследований установлено:

1. Нормативное сопротивление предела прочности деревокомпозитных балок с применением максимально растянутых радиальных ламелей составляет 23,27 МПа.
2. Деревокомпозитные балки с применением радиальных ламелей имеют прочность больше на 14 %, чем деревокомпозитные балки из тангенциальных ламелей.
3. Применение радиальных ламелей в деревокомпозитных балках позволяет снизить древесиноемкость конструкций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А.А. Технология производства, свойства, преимущества и недостатки клееной древесины / А.А. Иванов // Современные научные исследования и инновации. 2021. № 6 [Электронный ресурс]. URL: https://web.snauka.ru/issues/2021/06/95651 (дата обращения: 13.03.2024).
2. Серов Е.Н. Проектирование деревянных конструкций / Е.Н. Серов, Ю.Д. Санников, А.Е. Серов // Издательство АСВ — Москва, 2015 г. — 536 с.
3. Делова М.И. К расчету изгибаемых клееных деревянных конструкций по первой группе предельных состояний / М.И. Делова // Вестник Белгородского госуд. технологич. ун-та имени В.Г. Шухова. 2017. № 4. — С. 52–55.
4. Боровиков А.М. Качество пиломатериалов / А.М. Боровиков // Лесная промышленность — Москва, 1990 г. — 254 с.
5. Саранина П.Д. Эффективность применения клееных деревянных конструкций в современном строительстве / П.Д. Саранина // Научн. журнал «Ceteris panibus». 2023. № 4. — С. 186–189.

6. Волынский В.Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях / В.Н. Волынский, С.Н. Пластинин // ООО «Риэл-пресс» — Москва, 2005 г. — 256 с.
7. Левинский Ю.Б. Теоретическое обоснование структуры комбинированных клееных балок / Ю.Б. Левинский, Р.И. Агафонова // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века. Труды евразийского симпозиума / Под. ред. И.Т. Глебова. — Екатеринбург. 2006. — С. 57–58.
8. Лабудин, Б.В. К обоснованию расчетной модели клееной древесины как ортогонально трансверсально-изотропного материала / Б.В. Лабудин // Лесной журнал. № 6, 2006. — С. 136–139.
9. Лемешко Б.Ю. Сравнительный анализ критериев проверки отклонения распределения от нормального закона / Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко // Метрология. 2005. № 2. — С. 3–23.
10. Чистяков В.Ф. Применение метода наименьших квадратов для решения линейных дифференциальных алгебраических уравнений / В.Ф. Чистяков, Е.В. Чистякова // Сиб. журн. вычисл. Математики / РАН Сиб. отд-ние. — Новосибирск. 2013. — Т. 16, № 1. — С. 81–95.

Byzov Viktor Evgen′evich
Saint Petersburg Stieglitz State Academy of Art and Design, Saint Petersburg, Russia
E-mail: mapana@inbox.ru
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=514337

Melekhov Vladimir Ivanovich
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia
E-mail: hseng@narfu.ru
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=381661

Toropov Aleksandr Stepanovich
Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, Russia
E-mail: Toropov_A_S@mail.ru
RSCI: https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=495847

Study of the strength characteristics of wood-composite beams from lamellas of the radial sawing method

Abstract. The authors presented the results of studies to determine the strength characteristics of wood-composite beams. The results obtained are part of the dissertation research. The beams are made of lamellas using radial and tangential sawing. The article provides a comparative analysis of the strength and elasticity indicators of beams made of radial and tangential lamellas. The values of the strength and elasticity of beams were determined as a result of destructive tests of samples of wood-composite beams under transverse static bending. The beams are glued together from four lamellas.

Before testing, the samples were certified in order to determine the angle of inclination of the elements of the annual layers to the wide side of each of the lamellas and the width of the annual rings of the wood of the lamellas. A statistical analysis of the tensile strength and elastic modulus of wood samples of wood-composite beams was carried out. Statistical analysis was carried out based on the correspondence of the results of the distribution of strength and elastic modulus to the normal distribution law. A regression analysis of the relationship between strength and elasticity indicators with the values of the angle of inclination of the fibers and the width of the annual layers of wood in the lamellas was performed. As a parameter for the angle of inclination of the annual layers when carrying out regression analysis, the value of the angle of inclination of the annual layers in the maximally stretched lamella was taken.

A comparative analysis of the standard resistances of the temporary strength limits of wood-composite beams made of radial lamellas and wood-composite beams made of tangential lamellas was carried out. As a result of the analysis, it was found that wood-composite beams made of radial lamellas are 14 % stronger than beams made of tangential panels. Thus, the use of radial sawing lamellas in the tensile zone of wood-composite beams will reduce the wood consumption of structures.

Keywords: strength characteristics; wood-composite beams; transverse static bending; radial lamellas; tangential lamellas; angle of inclination of annual layers of wood; width of annual layers of wood