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

2025, Том 17, № 6 / 2025, Vol. 17, Iss. 6 https://esj.today/issue-6-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/18SAVN625.pdf

2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Черных, А. Г. Исследование возможности определение временной зависимости прочности перекрестно клееной древесины при изгибе из плоскости плиты при различных скоростях нагружения / А. Г. Черных, Г. Г. Розе, Б. С. Кулебякин // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 6. — URL: https://esj.today/PDF/18SAVN625.pdf.

For citation:
Chernykh A.G., Roze G.G., Kulebiakin B.S. Investigation of the time-dependent strength of cross-laminated timber in out-of-plane bending under various loading rates. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(6): 18SAVN625. Available at: https://esj.today/PDF/18SAVN625.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

Работа выполнена в рамках темы НИР № 36С25 при финансовой поддержке гранта СПбГАСУ

УДК 624.011.14

Черных Александр Григорьевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
Профессор
Доктор технических наук, профессор
E-mail: chagrig@spbgasu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9805-1428
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473049

Розе Георгий Григорьевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: rozegeorg@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2480-0051
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1291586

Кулебякин Богдан Сергеевич
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
E-mail: kulebyakinbo@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8833-5182

Исследование возможности определение временной зависимости прочности перекрестно клееной древесины при изгибе из плоскости плиты при различных скоростях нагружения

Аннотация. В статье рассматривается вопрос применимости ускоренного метода определения длительной прочности при изгибе для ДПК. Авторами приведен алгоритм определения регрессионной зависимости длительной прочности при изгибе перекрестноклееной древесины. Проведены испытания по ускоренному методу с использованием различных скоростей нагружения. В работе описаны характерные повреждения образцов, зафиксированные в ходе испытаний. Зависимость длительной прочности ДПК при изгибе, полученная по результатам опытов при различных скоростях нагружения, показала расхождение с данными

других авторов. Установлено влияние так называемого «парадокса сопротивления изгибу» для перекрестноклееной древесины при проведении испытаний на высоких скоростях нагружения. В частности, выявлено снижение временного сопротивления материала при скорости нагружения 100 мм/мин, что согласуется с исследованиями Ю.М. Иванова. В случае древесины данное явление объясняется тем, что при высокой скорости нагружения в крайних сжатых волокнах релаксации напряжений не успевают развиться, вследствие чего время до разрушения сокращается, а точка временной прочности для данного образца отклоняется вниз от прямой длительной прочности, что и вызывает парадокс. В свою очередь перекрестноклееная древесина является более сложным материалом, и ее слои могут испытывать различные напряженно-деформированные состояния. Перераспределение напряжений будет происходить по-разному в продольных и поперечных слоях, поэтому описать явление парадокса может быть труднее. Для адаптации ускоренного метода определения длительной прочности ДПК при поперечном изгибе представляет интерес проведение машинных испытаний со скоростями нагружения, пониженными относительно стандартных.

Ключевые слова: длительная прочность; перекрестноклееная древесина; скорость нагружения; предел прочности; поперечный изгиб; сопротивление; разрушающая нагрузка

Введение

Перекрестно-клееная древесина (ДПК) или же CLT (Cross-Laminated Timber) — современный строительный материал, концептуально представляющий собой набор из нечетного количество слоев (обычно три, пять или семь), каждый из которых выполнен из склеенных между собой досок (ламелей), уложенных бок о бок и расположенных крест-накрест друг к другу. Плиты ДПК выполняют в различных конфигурациях, они могут различаться толщиной слоев, количеством этих слоев, породой используемой древесины [1].

Этот материал внедряется в промышленное и гражданское строительство по всему миру что подтверждается резким увеличением научного интереса к нему. Прямым показателем этого служит многократный рост количества публикаций за последние 20 лет. Таким образом, последние 4 года среднее количество публикаций уже достигло порядка 270 и активно поддерживается ученными из США, Канады, КНР, Италии и других стран [2].

Уже сейчас на российском рынке есть производители, которые наладили цикл производства ДПК, а также разработали собственные стандарты организации, например, СТО 06202182-002-2025 разработанный компанией ООО «СОКОЛ СиЭлТи».

Однако, ввиду новизны материала для нашей страны, существует значительный пробел в отечественных нормативных документах. В частности, нигде не приведены данные о его механических характеристиках, о методике расчета конструкций из ДПК. Производители ДПК должны сами определять и указывать физико-механические свойства ДПК в связи с использованием разных клеевых систем, видов пиломатериалов и режимов прессования плит. Недостаточно исследований о свойствах материала под влиянием длительной нагрузки. Эти факторы существенно ограничивают применение ДПК в качестве массового конструкционного материала, сдерживая его широкое применение в строительстве.

На проблему влияния длительного действия постоянной нагрузки на прочность древесины отечественные ученные обратили внимание еще в прошлом веке. Так, Ю.М. Иванов, основываясь на научных трудах С.Н. Журкова, Г.М. Бертенева и Н.Л. Леонтьева, построил зависимость сопротивления древесины от длительности приложения постоянной нагрузки [3]. Полученная зависимость описана уравнением (1). Предложенное уравнение используется для

определения коэффициентов длительной прочности при различных режимах нагружения в СП 64.13330.2017[1] в таблице 4.

$$m_{дл} = 1{,}03 \cdot \left(1 - \frac{lg\tau}{lgA}\right), \quad (1)$$

где значение $lgA = 17{,}1$.

Для получения этой зависимости были обработаны результаты прямых длительных испытаний, продолжительность которых достигала 5 лет [4]. В связи с большой продолжительностью подобных испытаний была разработана альтернативная методика нахождения временной зависимости длительной прочности. В работе [5] был предложен ускоренный метод определения длительной прочности древесины и материалов на ее основе.

На сегодняшний день, характеристики длительной прочности для современных материалов определяют, основываясь на ускоренном методе. Так, например, зависимость для слоистой древесины из клееного шпона (LVL) по данному методу определена в работе [6], для ДПК при сжатии перпендикулярно волокнам — в работе [7]. Однако, данных для формирования полноценной нормативной документации недостаточно. Необходимо проводить дополнительные исследования с различными видами напряженно деформированного состояния ДПК.

Зарубежные ученые также изучают вопрос поведения ДПК при длительном нагружении. В иностранных работах внимание сосредоточенно на явлении ползучести древесины под действием продолжительной нагрузки. Так, в [8] ставилась задача исследования данного явления для CLT-плиты, изготовленной из японской лиственницы. Авторы в работе проводили как кратковременные, так и длительные испытания на изгиб. Однако, свои результаты они сравнивали с «Кривой Мэдисона», описанной в исследовании [9]. В Российской Федерации, в соответствии с СП 64.133300.2017[1], при расчете деревянных конструкций для учета деградации прочностных свойств древесины применяется коэффициенты длительной прочности для разных режимов нагружения. Для оценки длительной прочности утвержден национальный стандарт российской федерации ГОСТ Р 70877-2023. Конструкции деревянные. Методы определения длительной прочности древесины. и древесных материалов.

В данной работе авторами предлагается проанализировать возможность применения метода ускоренных испытаний ДПК, описанной в работе [7] для определения временной зависимости длительной прочности при изгибе.

Метод

Метод основан на испытаниях, которые проводятся в два этапа. На первом этапе проводится стандартное машинное испытание для получения временного сопротивления древесины при изгибе. Испытание выполняется согласно алгоритму, приведенному в ГОСТ Р 59784-2022. На втором этапе проводится несколько серий испытаний образцов при различных скоростях перемещения траверсы, которые подобраны исходя из условия:

$$\begin{cases} w_1 \gg w_0 \\ w_2 \ll w_0 \\ w_3 \ll w_0, \\ w_2 > w_3 \end{cases} \quad (2)$$

[1] СП 64.13330.2017 Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 URL: https://nav.tn.ru/cloud/iblock/9f3/9f392fae157833915d7d3a934fa55841/SP-64.13330.2017-Derevyannye-konstruktsii.pdf.

При этом стандартная скорость перемещения траверсы соответствует первому этапу испытаний. Во время проведения испытания фиксируется перемещение штока траверсы, время продолжительности опыта, а также нагрузка в каждый момент времени. По результатам каждого опыта строится график зависимости «Нагрузка, кН — Перемещение, мм». По полученному графику графоаналитическим способом определяется разрушающая нагрузка и записывается в протокол испытания.

По значениям разрушающей нагрузки, полученной при каждом отдельном испытании по формуле 3 определяют временное сопротивление древесины изгибу.

$$R_{\text{изг}}^{\text{вр}} = \frac{N_{\text{р}}^{\text{вр}} \cdot a_1}{2 \cdot W}, \tag{3}$$

Предполагается, что полученные значения будут соответствовать следующему условию:

$$R_1^{\text{вр}} > R_0^{\text{вр}} > R_2^{\text{вр}}, \tag{4}$$

Далее полученные результаты обрабатываются по алгоритму, предложенному в [7]:

Выполняется пересчет значений скоростей возрастания нагрузки по скоростям возрастания нагрузки по росту напряжений w_i^* МПа/с по формуле:

$$w^* = \frac{R_i}{t_i}, \tag{5}$$

где t_i — среднее время испытаний для i серии испытаний.

Вычисляются частные показатели α_{ij} для различных скоростей возрастания нагрузки — $\alpha_{01}(w_0; w_1), \alpha_{02}(w_0; w_2)$, $\alpha_{12}(w_1; w_2)$, $\alpha_{12}(w_1; w_3)$, по формуле:

$$\alpha = \frac{2{,}3 \lg\left(\frac{w_i}{w_j}\right)}{R_i - R_j}, \tag{6}$$

Определяется среднее геометрическое частных показателей α_{ij}:

$$\alpha_m = \sqrt[4]{\prod \alpha_{ij}}, \tag{7}$$

При скоростях w_i^* с использованием найденной величины α_m определяется приведенное время при кратковременных испытаниях CLT τ_i:

$$\tau = \frac{1}{\alpha_m \cdot w_i^*}, \tag{8}$$

Для построения временной зависимости определяются коэффициенты длительной прочности по условным пределам прочностей, полученным при различных скоростях нагружения по формуле:

$$m_{\text{дл},i} = \frac{R_i}{R_0}, \tag{9}$$

где R_0 — условный предел прочности при w_0.

По результатам расчета выполняется построение регрессионной зависимости длительной прочности от времени приложения нагрузки. Найденное уравнение записывается в виде:

$$m_{дл} = \omega \cdot \left(1 - \frac{lg\tau}{lgA}\right), \quad (10)$$

Для проведения испытаний подготовлено 4 образца согласно размерной схеме на рисунке 1. В качестве материала для образцов использовалась трехслойная плита ДПК марки «СОКОЛ», соответствующая стандарту СТО 06202182-002-2025. Плита выполнена из пиломатериалов хвойных пород древесины. Каждый из трех слоев имеет одинаковую толщину — 40 мм. В связи с техническими возможностями испытательного стенда, длина образов была выбрана — 1 100 мм.

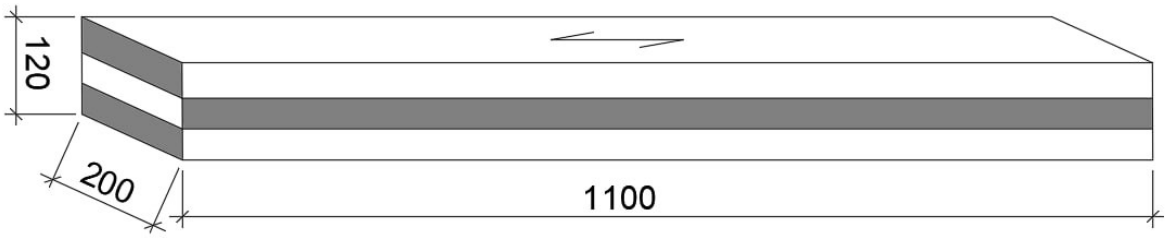

Рисунок 1. *Образец ДПК для определения разрушающей нагрузки по ускоренному методу (разработано авторами)*

В качестве стандартной скорости испытания по ГОСТ Р 59784 принято значение $w_0 = 10$ мм/мин. Скорости для второго этапа определены по условию 2 и приняты равными: $w_1 = 100$ мм/мин, $w_2 = 0{,}1$ мм/мин.

Схема испытания на четырехточечный изгиб образцов представлена на рисунке 2.

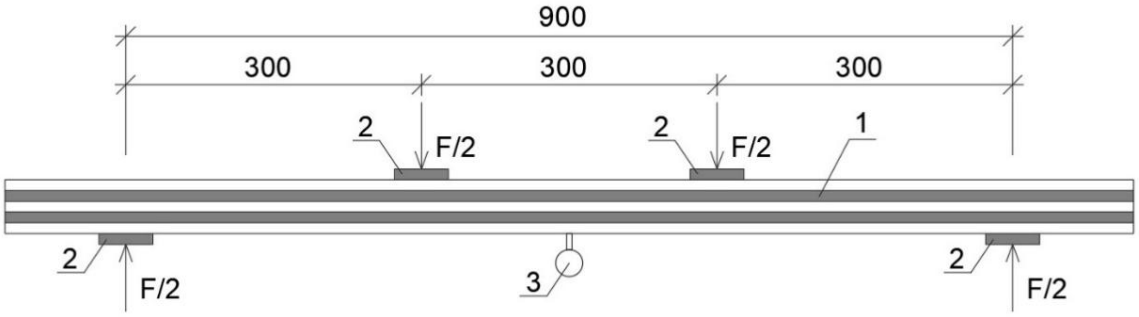

Рисунок 2. *Схема испытания ДПК на четырехточечный изгиб (разработано авторами)*

Перед проведением эксперимента была определена расчетная разрушающая нагрузка согласно ГОСТ 59784-2022, которая составила:

$$N_р = \frac{2 \cdot R_{изг} \cdot W}{a_1} = \frac{2 \cdot 24 \cdot 10^3 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}12^2}{0{,}3 \cdot 6} = 76{,}8 \text{ кН}, \quad (11)$$

где:

$R_{изг}$ — расчетное сопротивление изгибу ДПК, принятое по СТО 06202182-002-2025;

W — момент сопротивления сечения;

a_1 — расстояние от опоры до точки приложения силы, м.

Экспериментальные исследования прочностных свойств проводились в механической лаборатории СПбГАСУ с помощью испытательной машины UT-05-1000 с серво-гидравлической системой. Испытательная установки представлена на рисунке 3.

Рисунок 3. *Испытательная машина UT-05-1000 с установленным образцом ДПК для определения разрушающей нагрузки при изгибе (фото авторов)*

Результаты и обсуждение

Полученные в ходе испытаний графики зависимости «Нагрузка, кН — Перемещение, мм» приведены на рисунках 4–7.

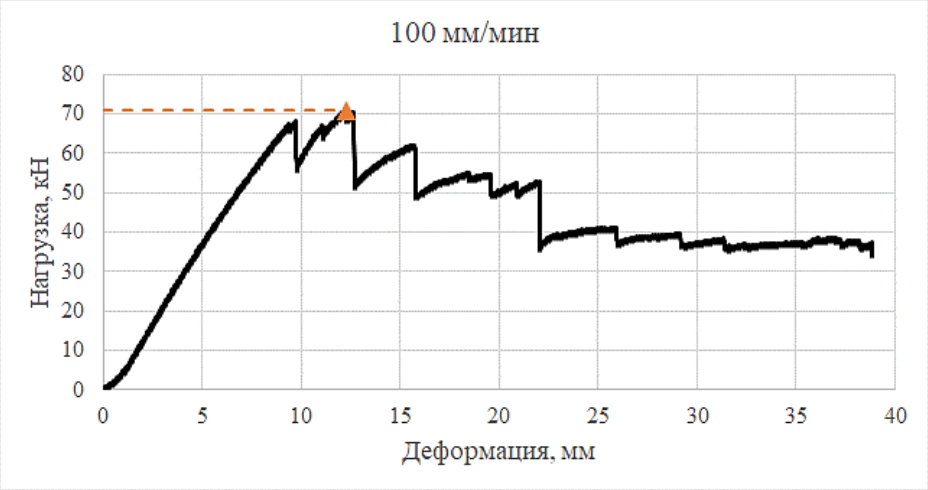

Рисунок 4. *Диаграмма «Нагрузка — Деформация» для образца № 1 (представлено авторами)*

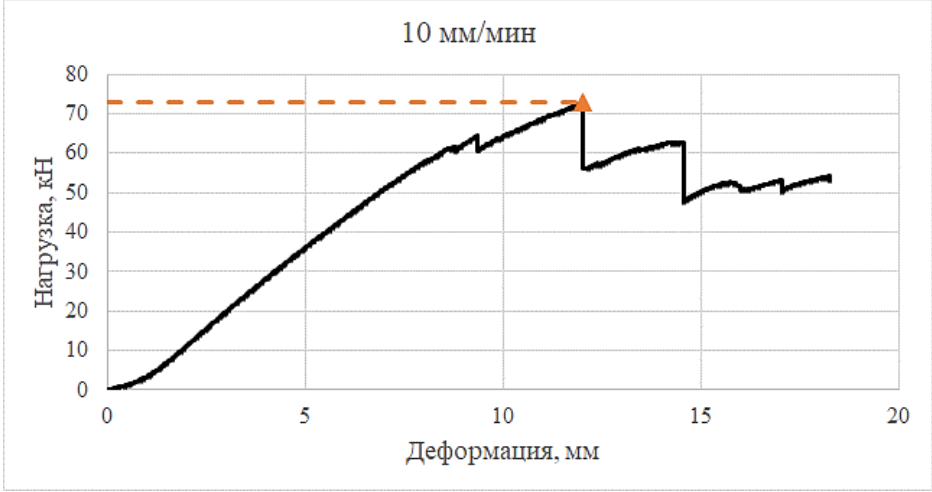

Рисунок 5. *Диаграмма «Нагрузка — Деформация» для образца № 2 (представлено авторами)*

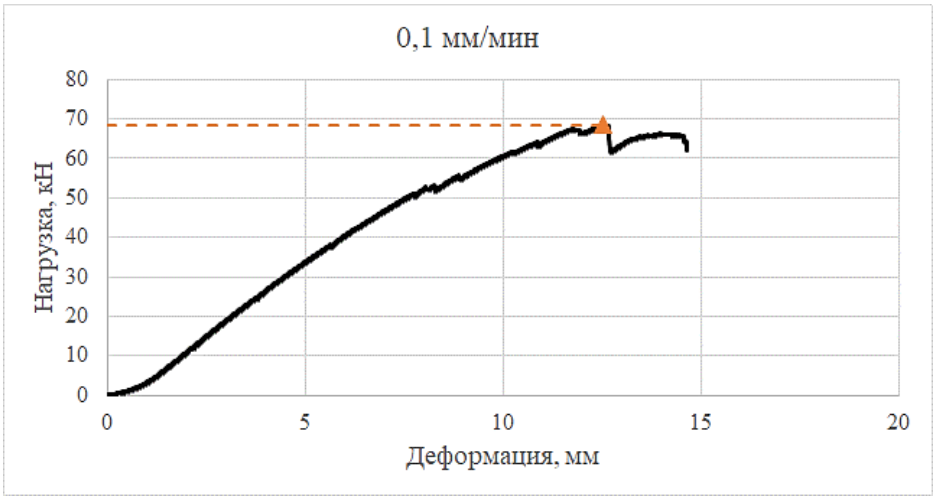

Рисунок 6. *Диаграмма «Нагрузка — Деформация» для образца № 3 (представлено авторами)*

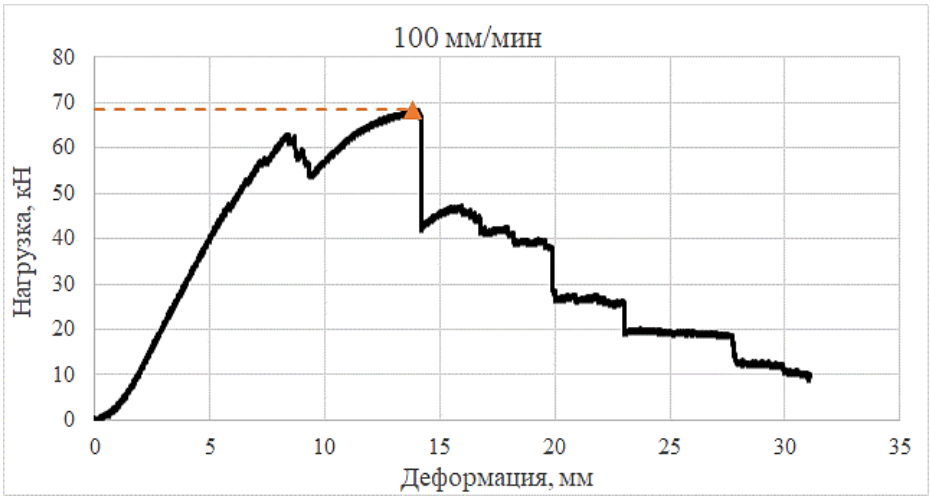

Рисунок 7. *Диаграмма «Нагрузка — Деформация» для образца № 4 (представлено авторами)*

В качестве разрушающей нагрузки принято считать пиковую нагрузку в ходе испытания.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных по ускоренному методу представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты испытания образцов ДПК на поперечный изгиб при различных скоростях нагружения

№ Образца	Скорость нагружения образца w, мм/мин	Разрушающая нагрузка N, кН	Время до разрушения t, с	Размеры поперечного сечения образца		Временное сопротивление ДПК изгибу R, МПа
				b, мм	h, мм	
1	100	70,80	8,45	205	120	21,95
2	10	72,72	60,44	203	120	22,76
3	1	68,51	8 022,12	119,25	119,25	21,69
4	100	68,47	9,34	205	119,5	21,4

Получено авторами

Разрушение первого образца выражено разрывом нижней растянутой ламели в месте наибольшего момента, трещина проникает вглубь продольного слоя в обоих направлениях. Расслоение на приопорном участке возникло как наклонная трещина, которая со временем пошла по стыку слоев образца вдоль клеевого шва. Еще одно разрушение клеевого шва наблюдается по краю нижней части образца, что может быть объяснено малой шириной ламели в наборе нижнего слоя, а также недостаточной шириной опор основания (рис. 8).

Разрушение во втором опыте представлено возникновением наклонных трещин, которые наблюдаются в обоих направлениях на участках между опорами основания и траверсы (рис. 9).

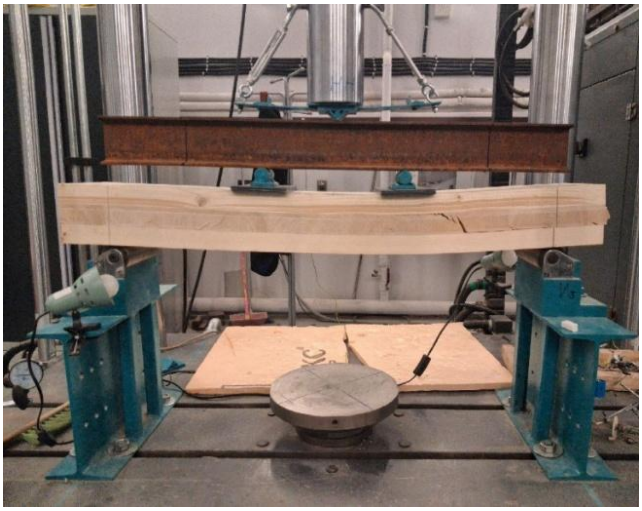

Рисунок 8. *Разрушение образца № 1 (фото авторов)*

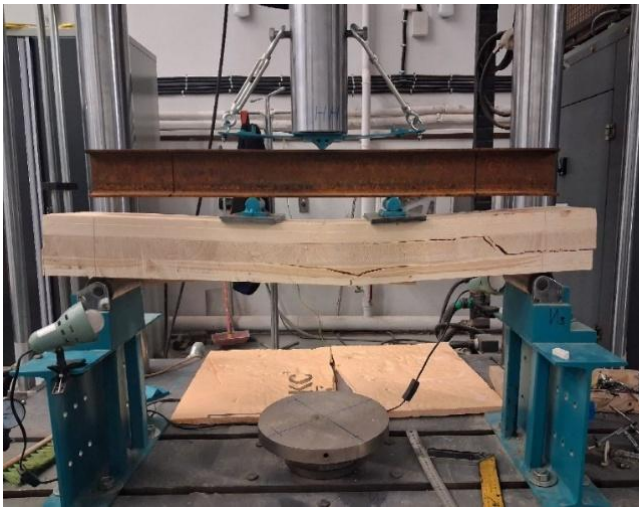

Рисунок 9. *Разрушение образца № 2 (фото авторов)*

В третьем опыте характер разрушения образца оказался таким же, как и при испытании второго образца. Следует отметить смещение ламелей поперечного слоя друг относительно друга в вертикальном направлении на участке между опорами основания и траверсы. Также наблюдается расщепление части нижнего продольного слоя, что можно объяснить наличием порока древесины в виде сучка, близким к месту наибольшего изгибающего момента (рис. 10, 11). Большинство вышеописанных повреждений были представлены в работе [10]. Авторы указывают, что поперечные трещины, как правило, образуются в зонах повреждений и приводят к разрушению конструкции. Наклонные трещины возникают из-за высоких касательных напряжений, образуются в местах трещин усушки и вдоль годичных колец. Также наблюдаются, так называемые, ступенчатые трещины в зоне контакта между соседними слоями. Они возникают вследствие подавления основных растягивающих напряжений иными усилиями: напряжениями изгиба, перпендикулярно волокнам и напряжениями, перпендикулярными отдельному слою. Межслойное разрушение может быть вызвано чрезмерными касательными напряжениями, которые привели к расслоению ламелей вследствие разрушения клеевого шва.

Рисунок 10. *Трещины на опорном участке образца № 3 (фото авторов)*

Рисунок 11. *Расщепление части нижнего продольного слоя образца № 3 (фото авторов)*

Полученные в ходе испытаний результаты, приведенные в таблице 1, не удовлетворяют условию 4. А именно: временное сопротивление образцов, испытываемых при скорости перемещения штока траверсы 100 мм/мин, оказалось меньше, чем у образца испытанным со скоростью 10 мм/мин. Это явление можно объяснить так называемым «парадоксом сопротивления древесины изгибу», который Ю.М. Иванов обнаружил в работе [11] и описал в работе [12]. Временное сопротивление древесины при превышении некоторой скорости оказывается меньше значений, полученных при меньших скоростях нагружения. Автор объясняет механизм парадокса задержкой релаксации напряжений в крайних сжатых волокнах изгибаемого элемента, что на меньших скоростях не наблюдается.

Для построения временной зависимости длительной прочности при изгибе рассмотрим результаты, полученные в ходе испытания образцов под номером 2 и 3, при этом результаты образцов 1 и 4 признаны некорректными для получения зависимости.

На основании полученных данных по формулам 5–9 были вычислены значения приведенного времени, а также значения длительной прочности для всех скоростей нагружения. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов длительной прочности для кратковременных испытаний CLT на изгиб

Скорость нагружения w_i, мм/мин	Временное сопротивление R_i	Приведенное время τ, с	$m_{дл}$
10	22,76	0,37663	1,00
0,1	21,69	0,00270	0,95

Получено авторами

На рисунке 12 приведена графическая интерпретация результатов. По полученным значением приведенного времени, а также коэффициентам длительной прочности был построен график зависимости «$m_{дл}$ - $lg\ \tau$», а также выполнена аппроксимация, отмеченная на рисунке пунктирной линией, позволяющее получить регрессионное уравнение длительной прочности ДПК.

Полученное уравнение регрессионной зависимости длительной прочности ДПК имеет следующий вид:

$$m_{дл} = -0{,}022 lg\tau + 0{,}9948, \quad (12)$$

Или в обобщенном виде:

$$m_{дл} = 0{,}9948 \cdot \left(1 - \frac{lg\tau}{45{,}218}\right), \quad (13)$$

Значение lgA для данной зависимости принимается $lgA = 45{,}218$.

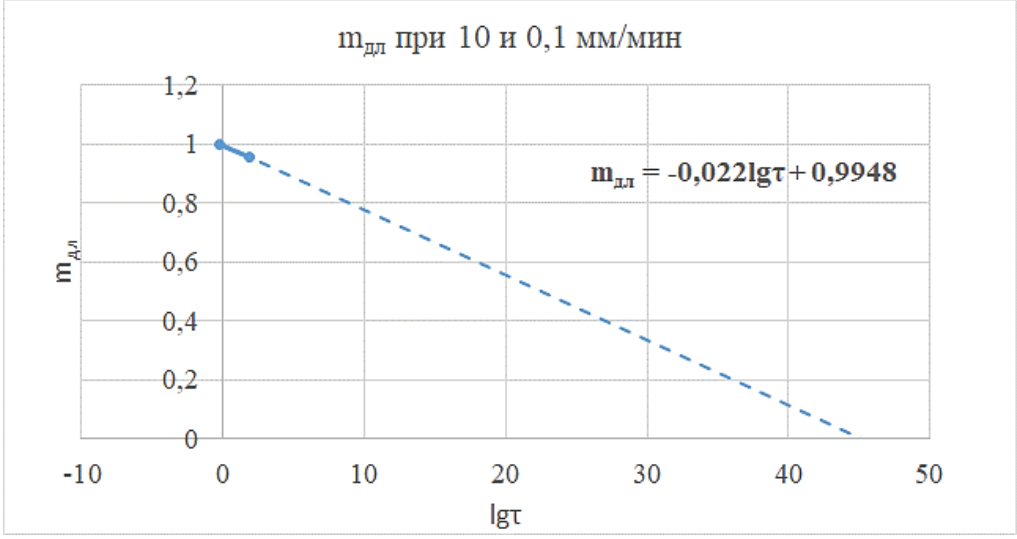

Рисунок 12. *График зависимости «$m_{дл}$ - lg τ» (получено авторами)*

На рисунке 13 показаны графики прямой длительной прочности для четырех случаев: 1 — прямая, построенная по результатам проведенных испытаний древесины, 2 — описанная Ивановым Ю.М. в работе [3], 3 — прямая, построенная по результатам обработки данных из [8], 4 — прямая полученная авторами в работе [7] соответствующая сжатию ДПК перпендикулярно волокнам.

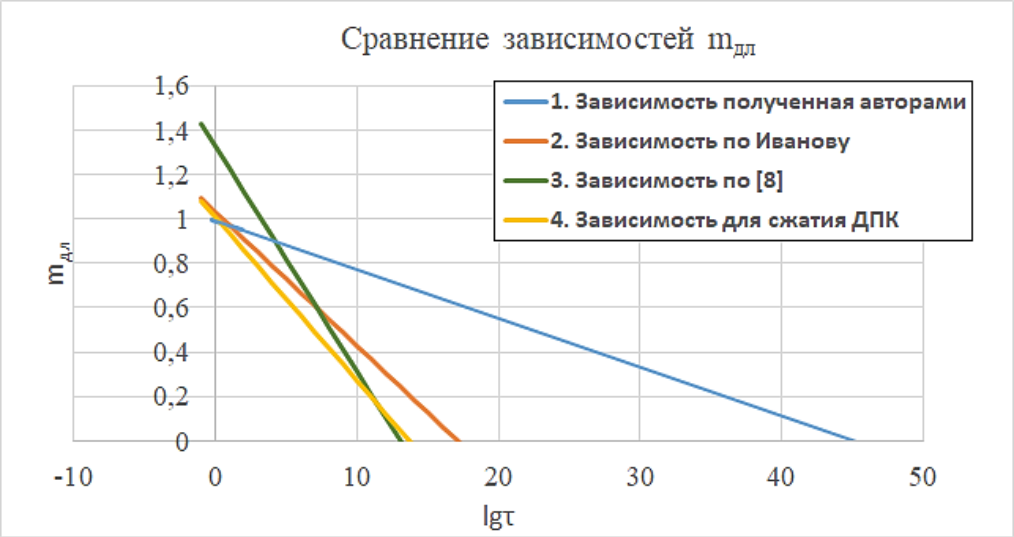

Рисунок 13. *Сравнение зависимостей «$m_{дл}$ - lg τ» (предоставлено авторами)*

Аппроксимированная временная зависимость длительной прочности (синий цвет), полученная авторами, имеет меньший угол наклона к оси абсцисс и следовательно, значение LgA в 2,5 раза больше, чем для древесины, что свидетельствует о влияние парадокса, описанного выше. Это обстоятельно требует дополнительных исследований при варьировании скоростей нагружения в других пределах.

Выводы

Реализация разработанной программы определения длительной прочности ускоренным методом позволила установить особенности изменения разрушающей нагрузки при сложно напряженном состоянии перекрестно клееной древесины при изгибе. В процессе испытаний было обнаружено снижение разрушающей нагрузки при скорости нагружения 100 мм/мин.

При адаптации ускоренного метода необходимо учесть явление парадокса, возникающего при высоких скоростях нагружения образцов ДПК при изгибе. При исследовании возможности применения ускоренного метода определения коэффициента длительной прочности ДПК при изгибе следует уточнить диапазон изменения скоростей нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G., & Thiel, A. Cross laminated timber (CLT): overview and development // European Journal of Wood and Wood Products. 2016. № 74(3). С. 331–351. URL: https://www.researchgate.net/publication/291349393_Cross_laminated_timber_CLT_overview_and_development (дата обращения 11.11.2025)
2. Akşar, S. Cross-Laminated Timber as a Sustainable Building Material: an Interdisciplinary Bibliometric Analysis // Gazi University Journal of Science Part A: Engineering and Innovation. 2025. № 12. С. 737–755. URL: https://www.researchgate.net/publication/396023909_Cross-Laminated_Timber_as_a_Sustainable_Building_Material_an_Interdisciplinary_Bibliometric_Analysis (дата обращения 11.11.2025).
3. Иванов Ю.М. Длительная прочность древесины // Известия высших заведений. Лесной журнал. 1972. № 4. С. 76–82.
4. Н.Л. Леонтьев. Длительное сопротивление древесины // Гослесбумиздат, 1957. 132 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000200_000018_rc_4749039/ (дата обращения 11.11.2025).
5. Коваль, П.С. Ускоренный метод определения длительной прочности древесины и материалов на ее основе // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 6(107). С. 68–80. URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=80339644 (дата обращения 11.11.2025).
6. Корольков, Д.И. Определение сроков службы и остаточного ресурса LVL-конструкций при растяжении // Вестник евразийской науки. 2023. Т. 15, № 4. URL: https://esj.today/PDF/10SAVN423.pdf (дата обращения 11.11.2025).
7. Черных, А.Г., Розе Г.Г., Храцева А.А. Определение временной зависимости прочности перекрестноклееной древесины при сжатии перпендикулярно плоскости плиты под действием постоянной нагрузки // Вестник евразийской науки. 2024. Т. 16, № 6. URL: https://esj.today/PDF/43SAVN624.pdf (дата обращения 11.11.2025).
8. Takanashi, R., Ohashi, Y., Ishihara, W. Long-term bending properties of cross-laminated timber made from Japanese larch under constant environment // J Wood Sci. 2021. № 67(1). URL: https://www.researchgate.net/publication/356540332_Long-term_bending_properties_of_cross-laminated_timber_made_from_Japanese_larch_under_constant_environment (дата обращения 11.11.2025).
9. Wood, L.W. Relation of strength of wood to duration of load. // Forest Products Laboratory, Madison. 1951. № 1916. URL: https://archive.org/details/relag00fore (дата обращения 11.11.2025).

10. Hochreiner G., Füssl J., Eberhardsteiner J., Aicher, S. CLT Plates under Concentrated Loading — Experimental Identification of Crack Modes and Corresponding Failure Mechanisms // RILEM Bookseries. 2013. № 9. URL: https://www.researchgate.net/publication/279848081_CLT_Plates_under_Concentrated_Loading_-_Experimental_Identification_of_Crack_Modes_and_Corresponding_Failure_Mechanisms (дата обращения 11.11.2025).

11. Иванов Ю.М., Славик Ю.Ю. Оценка длительной прочности древесины при изгибе по результатам кратковременных испытаний // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1981. № 2. С. 66–70.

12. Иванов Ю.М. Парадокс сопротивления древесины изгибу // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 1987. № 1. С. 56–60.

Chernykh Aleksandr Grigorevich
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: chagrig@spbgasu.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9805-1428
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473049

Roze Georgii Grigorevich
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: rozegeorg@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0000-2480-0051
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1291586

Kulebiakin Bogdan Sergeevich
Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: kulebyakinbo@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-8833-5182

Investigation of the time-dependent strength of cross-laminated timber in out-of-plane bending under various loading rates

Abstract. This article examines the applicability of an accelerated method for determining the long-term bending strength of cross-laminated timber (CLT). The authors present an algorithm for constructing a regression model of the long-term bending strength for cross-laminated timber (CLT). Tests were conducted using the accelerated method with various loading rates. The paper describes the characteristic failure modes of the specimens observed during testing. The dependence of the long-term bending strength of CLT, derived from the experimental results at different loading rates, showed a discrepancy with data from other authors. The influence of the so-called «bending strength paradox» for cross-laminated timber was observed during high-speed loading tests. Specifically, a decrease in the temporary resistance of the material was identified at a loading rate of 100 mm/min, which is consistent with the research of Yuri Ivanov. In the case of solid wood, this phenomenon is explained by the fact that under high loading rates, stress relaxation does not have time to develop in the extreme compressed fibers. As a result, the time to failure decreases, and the point of temporary strength for the specimen deviates downward from the long-term strength line, which causes the paradox. In turn, cross-laminated timber is a more complex material, and its layers can experience different stress-strain states. Stress redistribution occurs differently in longitudinal and transverse layers, making the description of the paradox phenomenon more challenging. To adapt the accelerated method for determining the long-term bending strength of CLT, it is of interest to conduct machine tests with loading rates lower than those used in standard tests.

Keywords: long-term strength; cross-laminated timber (CLT); loading rate; Bending Strength; resistance; failure load