

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

2023, Том 15, № 5 / 2023, Vol. 15, Iss. 5 <https://esj.today/issue-5-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/74SAVN523.pdf>

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

Ссылка для цитирования этой статьи:

Корольков, Д. И. Влияние угла наклона волокон на прочность и срок службы LVL-конструкции / Д. И. Корольков, А. Г. Черных, С. Н. Савин, П. С. Коваль, Ю. В. Пухаренко, Е. В. Данилов // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 5. — URL: <https://esj.today/PDF/74SAVN523.pdf>

For citation:

Korolkov D.I., Chernykh A.G., Savin S.N., Koval P.S., Pukhareno Y.V., Danilov E.V. The influence of fiber angle on the strength and service life of LVL structures. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(5): 74SAVN523. Available at: <https://esj.today/PDF/74SAVN523.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 624.011.14; 69.059.4

Корольков Дмитрий Игоревич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Ассистент

E-mail: korol9520@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8063-1878>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627

Черных Александр Григорьевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Заведующий кафедрой «Металлических и деревянных конструкций»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: ag1825831@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9805-1428>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473049

Савин Сергей Николаевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Профессор

Доктор технических наук, старший научный сотрудник

E-mail: savinsn@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8214>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=426347

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56868321400>

Коваль Павел Сергеевич

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

Доцент

Кандидат технических наук

E-mail: pkoval@lan.spbgasu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1911-5169>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=736713

Пухаренко Юрий Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
Заведующий кафедрой
Доктор технических наук, профессор
E-mail: push@lan.spbgasu.ru
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416932

Данилов Егор Владимирович

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»,
Санкт-Петербург, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: edanilov@lan.spbgasu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-4600>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=825096
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57466590600>

Влияние угла наклона волокон на прочность и срок службы LVL-конструкции

Аннотация. LVL применяется в строительстве для несущих и ограждающих конструкций. Перспективным направлением является деревянное домостроение с применением унифицированных конструкций из LVL, реконструкция перекрытий старого жилого фонда, усиление деревянных конструкций, надстройка мансардных этажей, возведение большепролетных и пространственных конструкций. Широкий выбор типоразмеров LVL позволяет минимизировать трудозатраты и количество отходов при производстве строительных конструкций как на заводе, так и на строительной площадке.

Однако, нет данных по длительной прочности и долговечности LVL-бруса, что является одним из факторов сдерживающим его использование на российском строительном рынке. Нет сведений об изменении прочности при действии силы под углом к волокнам LVL, что необходимо учитывать при проектировании узловых соединений и сечений приопорных зон.

Авторами статьи проведены исследования прочности LVL при растяжении под различными углами наклона волокон. Получены зависимости временной прочности LVL-бруса при углах наклона волокон в диапазоне от 0° до 60° при толщине образцов мм: 30, 39, 45, 51. Проведен сравнительный анализ экспериментальной зависимости нормативного сопротивления при растяжении LVL со значениями нормативного сопротивления, полученного по СП 64.13330.2017.

Выполнен расчет срока службы LVL-балки междуэтажного перекрытия вероятностным методом при заданной минимальной вероятности безотказной работы до достижения аварийного технического состояния. По результатам выполненных проверок по нормальным и касательным напряжениям, устойчивости и главным напряжениям определены коэффициенты использования. Расчет срока службы был выполнен по главным напряжениям (под углом 45°).

Данная работа выполнялась в рамках диссертационного исследования по теме «Развитие методов оценки остаточного ресурса несущих деревянных конструкций».

Ключевые слова: нормативное сопротивление; LVL-конструкция; растяжение; угол наклона волокон; энергия активации; срок службы; главное растягивающее напряжение

LVL применяется в строительстве для несущих и ограждающих конструкций. Перспективным направлением является деревянное домостроение с применением унифицированных конструкций из LVL, реконструкция перекрытий старого жилого фонда, усиление деревянных конструкций, надстройка мансардных этажей, возведение большепролетных и пространственных конструкций. Широкий выбор типоразмеров LVL позволяет минимизировать трудозатраты и количество отходов при производстве строительных конструкций как на заводе, так и на строительной площадке.

На основе проведенных исследований¹, разработаны нормативные документы отражающие методики и расчетные характеристики LVL для проектирования строительных конструкций. Однако, нет данных по длительной прочности и долговечности LVL-бруса, что является одним из факторов сдерживающим его использование на российском строительном рынке. Нет сведений об изменении прочности при действии силы под углом к волокнам LVL, что необходимо учитывать при проектировании узловых соединений и сечений приопорных зон [1–15].

В связи с вышеизложенным, **цель** данной работы — выявление влияния угла наклона волокон на прочность и срок службы LVL-конструкции.

Для достижения поставленной цели были проведены экспериментальные исследования образцов из LVL марки Ultralam R по ТУ 53 66-052-6915009120-2013² толщиной 30, 39, 45, 51 мм на растяжение с углами наклона волокон 0°, 30°, 45°, 60°. Количество образцов в каждой серии составляло 10 шт. Размеры задавались из условия, что испытуемый образец должен иметь такую общую длину, чтобы рабочая его часть между захватами испытательной машины составляла не менее 8-кратной ширины, а длина в захватах исключала смятие древесины поперек волокон и преждевременное разрушение образца в захватах.³ При испытаниях температура воздуха была в пределах 20–22°C, влажность воздуха составляла 60–70 %. Нагружение выполнялось непрерывно с постоянной скоростью 4 мм/мин до разрушения.

Временное сопротивление при растяжении вдоль волокон R_p^{BP} определяется по формуле:

$$R_p^{BP} = k \cdot \frac{N}{F}, \quad (1)$$

где N — разрушающее усилие; F — площадь поперечного сечения образца; k — масштабный коэффициент, определяемый по формуле:

$$k = \left(\frac{L_0}{3000} \right)^{s/2}, \quad (2)$$

¹ Животов Д.А. Применение бруса, клееного из однонаправленного шпона, в плоских балочных фермах: автореферат дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: СПбГАСУ, 2009. — 22 с.

Чан К.Ф. Развитие методов расчета узловых соединений деревянных конструкций из ЛВЛ с применением самонарезающих нагелей: Дисс. ... канд. техн. наук. — СПб, 2021, — 164 с.

Foschi, R.O., Yao, Z.C. (1986) Another Look at three duration of load models. International Council for Building Research Studies and Documentation Working Commission W18 — Timber Structures CIB-W18/19-9-1 Meeting 19 Florence, Italy.

Foschi R.O., Folz B.R., Yao F.Z. Reliability-based design of wood structures / Structural research series. Rep. No. 34 / Dep. of Civil Eng., Univ. of British Columbia, Vancouver, Canada, 1989.

² ТУ 53 66-052-6915009120-2013 Брус клееный из шпона LVL (Laminated Veneer Lumber) Ultralam.

³ ГОСТ 33124-2021 Брус многослойный клееный из шпона технические условия.

где L_0 — длина образца между захватами испытательной машины, мм; s — параметр размерного эффекта, получаемый по следующей формуле:

$$s = 2 \cdot v - 0,05, \quad (3)$$

где v — коэффициент вариации результатов испытаний.

Временные сопротивления при растяжении под различными углами относительно волокон $R_{p,\alpha}^{BP}$ определялись по формуле (1) без учета масштабного коэффициента k .

Экспериментальные исследования выполнялись в секторе механических испытаний строительных конструкций испытательного центра СПбГАСУ на универсальной электромеханической машине Instron-5989 (рис. 1).



Рисунок 1. Кратковременные испытания образцов LVL на растяжение (предоставлено авторами)

На рисунке 2 представлены фотографии, на которых зафиксирован характер разрушения образцов с наклоном и без наклона волокон.



А) Разрушение образца с углом наклона волокон 0° в рабочей зоне



Б) Разрушение образца с углом наклона волокон 60° в рабочей зоне

Рисунок 2. Характеры разрушения образцов при кратковременных испытаниях (предоставлено авторами)

Результаты и статистическая обработка экспериментальных данных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения кратковременной прочности при растяжении под разными углами наклона волокон

Угол	Размеры поперечного сечения, мм		Максимальная (разрушающая) нагрузка F_{\max} , кН	Площадь сечения образца, M^2	Временное сопротивление $R_{p,\alpha}^{BP}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение	Средняя ошибка среднего арифметического	Выборочный коэффициент вариации	Показатель точности среднего значения
	a	b							
0°	30	50	49,94	0,0015	29,95	2,64	1,076	0,0793	0,0324
0°	39	50	66,37	0,00195	30,66	2,22	0,992	0,0652	0,0292
0°	45	50	80,69	0,00225	32,32	1,34	0,546	0,0373	0,0152
30°	30	50	6,03	0,0015	4,02	0,1	0,035	0,0245	0,0087
30°	39	50	8,34	0,00195	4,28	0,07	0,023	0,0161	0,0054
30°	45	50	9,87	0,00225	4,39	0,13	0,048	0,0287	0,0109
30°	51	50	11,50	0,00255	4,51	0,33	0,106	0,0741	0,0234
45°	30	50	3,37	0,0015	2,25	0,04	0,022	0,0198	0,0099
45°	39	50	4,55	0,00195	2,33	0,03	0,014	0,0135	0,006
45°	45	50	5,49	0,00225	2,44	0,09	0,029	0,0352	0,0117
45°	51	50	6,41	0,00255	2,51	0,07	0,025	0,0279	0,0099
60°	30	50	1,88	0,0015	1,25	0,18	0,058	0,1458	0,0461
60°	39	50	2,80	0,00195	1,44	0,15	0,052	0,102	0,0361
60°	45	50	3,50	0,00225	1,56	0,12	0,039	0,0759	0,0253
60°	51	50	4,06	0,00255	1,59	0,08	0,025	0,0489	0,0155

Получено авторами

Нормативные сопротивления LVL при растяжении под различными углами наклона волокон определены в соответствии с требованиями СП 64.13330⁴ по формуле (4):

$$R_p^H = R_p^{BP} \cdot (1 - 1,65 \cdot v), \quad (4)$$

где 1,65 — квантиль в предполагаемой статистической функции распределения с обеспеченностью 0,95⁴.

Результаты расчета нормативных сопротивлений приведены в таблице 2.

Таблица 2

Нормативные сопротивления $R_{p,\alpha}^H$ LVL при растяжении

Толщина элементов, мм	Нормативные сопротивления $R_{p,\alpha}^H$, МПа, для углов наклона волокон			
	0°	30°	45°	60°
30	26,03	3,86	2,18	0,95
39	27,36	4,17	2,28	1,20
45	30,33	4,18	2,30	1,36
51	—	3,96	2,39	1,46

Получено авторами

Прочность LVL в зависимости от угла наклона волокон, согласно СП 64.13330⁴ по формуле:

$$R_{расч} = \frac{R_{p,0}^H}{1 + \left(\frac{R_{p,0}^H}{R_{p,90}^H} - 1 \right) \cdot \sin^3 \alpha}, \quad (5)$$

⁴ СП 64.13330.2017 «СНиП II-25-80 Деревянные конструкции».

$R_{p,0}^H$ — значение прочности при угле наклона волокон 0° , МПа; $R_{p,90}^H$ — значение прочности при угле наклона волокон 90° , МПа; α — угол наклона волокон, град.

Значения нормативных сопротивлений при растяжении приняты в соответствии с таблицей В.2 СП 64.13330⁴: вдоль волокон $R_{p,0}^H = 38$ МПа, поперек волокон $R_{p,90}^H = 1,4$ МПа.

На рисунке 3 представлены зависимости нормативного сопротивления LVL при растяжении от угла наклона волокон на основе экспериментальных данных (табл. 2) и значений, полученных по формуле (5). Синяя и оранжевая кривая соответственно.

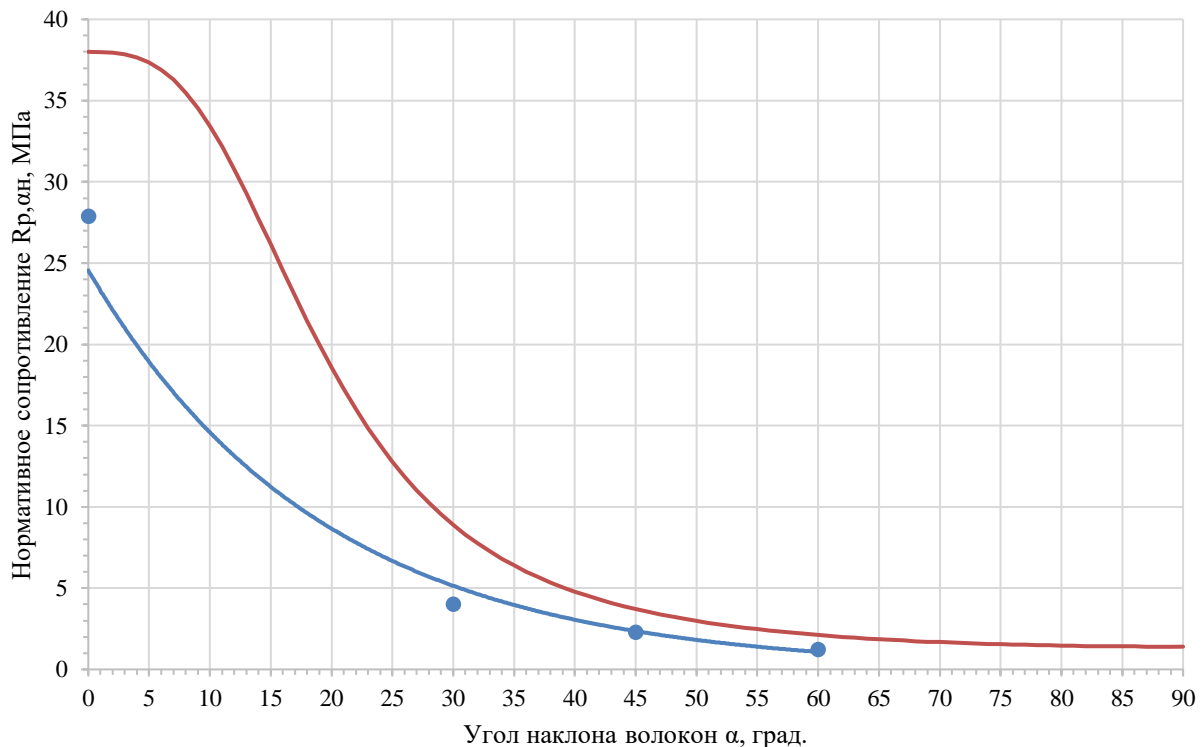


Рисунок 3. Зависимости прочности LVL от угла наклона волокон, определенных экспериментально (синяя линия), и расчетным путем по СП 64.13330⁴ (оранжевая линия) (создано авторами)

В результате выполнения регрессионного анализа, была получена зависимость прочности от угла наклона волокон:

$$R_{p,\alpha}^H = 24,554 \cdot e^{-0,052 \cdot \alpha}. \tag{6}$$

Сравнение экспериментальной и расчетной зависимостей показывает существенное расхождение значений нормативных сопротивлений при растяжении для малых углов наклона волокон, в результате возрастает вероятность отказа LVL-конструкций из-за завышенной прочности, принятой при проектировании по СП 64.13330⁴.

Для выявления влияния угла наклона волокон на работоспособность конструкции выполним расчет срока службы по методике, изложенной в работе [16], до момента наступления аварийного состояния с минимально заданной вероятностью безотказной работы $P_{\min} = 0,68269$.

Расчет выполнялся по методике, изложенной в работе [16]. Вероятность безотказной работы P_a конструкции в течение срока службы конструкции « τ_c » рассчитывается по формуле:

$$P_a = 0,5 + \Phi \left[\left(1 - x / x_{cp} \right) / v \right] \geq P_{\min}, \quad (7)$$

где v — коэффициент вариации прочностных свойств материала конструкции; Φ — нормированная функция Лапласа [16]; x_{cp} принимается равной:

$$x_{cp} = (U - \gamma \cdot \sigma) / (R \cdot T), \quad (8)$$

U_0 — начальная энергия активации процесса разрушения, равная потенциальному барьеру разрыва химических связей твердых тел, кДж; R — газовая постоянная, равная $8,314 \cdot 10^{-3}$ кДж/(моль*К); T — температура, К; σ — напряжение, МПа; γ — структурно-чувствительный коэффициент, кДж/(моль*МПа).

Переменная x определяется [16]:

$$x = \ln(\tau_c / \tau_0), \quad (9)$$

τ_0 — период тепловых колебаний атомов, равный 10^{-13} с.

В качестве примера расчета возьмем LVL-балку междуэтажного перекрытия в жилом здании. Пролет — $l = 4,0$ м, шаг балок — $s = 0,8$ м в осях. Конструкции находятся в тепловом контуре здания. Температура эксплуатации составит $+25^\circ\text{C}$ (298 К). Коэффициент вариации прочностных свойств равен 10 %. Согласно экспериментальным данным энергия активации равна $U = 121,3$ кДж/моль, структурный коэффициент $\gamma = 2,24$ кДж*МПа/моль. Напряжение определяется по наибольшему коэффициенту использования сечения конструкции после проведения проверочных расчетов.

На балку междуэтажного перекрытия действуют следующие нагрузки:

- кратковременная, распределенная по перекрытию (от людей, животных, нестационарного оборудования), — $P_k = 1\,500,0$ Н/м² (коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_{fk} = 1,3$);
- постоянная (от веса конструкции перекрытия, в том числе собственного веса балки), — $P_n = 150,0$ Н/м² (коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_{fn} = 1,1$).

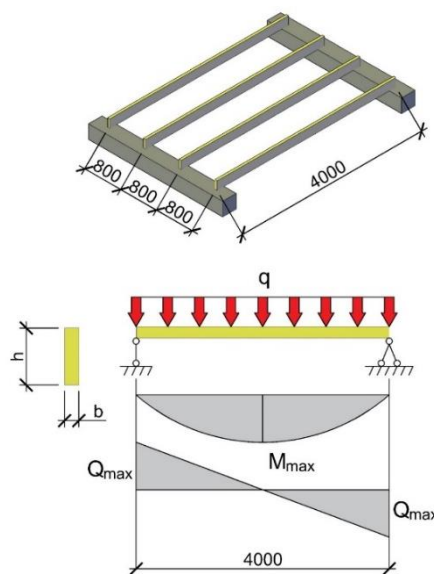


Рисунок 4. Расчетная схема балки из LVL (создано авторами)

Сечение балки было принятым равным 45×185 мм.

Приняв эти данные за исходные, определим расчетный срок службы с использованием термофлуктуационных констант при действии главных растягивающих напряжений.

Расчетные сопротивления балки с учетом коэффициента длительной прочности LVL при изгибе вдоль волокон в плоскости слоев шпона (по кромке) и скалывании вдоль волокон поперек плоскости листа были определены равным соответственно 18,75 и 1,96 МПа.

Расчетная схема балки приведена на рисунке 4.

Суммарная расчетная нагрузка на 1 п.м. конструкции:

$$q_p = (P_k \cdot \gamma_{fk} + P_{II} \cdot \gamma_{fII})s = (1500 \cdot 1,3 + 150 \cdot 1,1) \cdot 0,8 = 1692,0 \text{ Н/м.}$$

Максимальный изгибающий момент (в середине пролета):

$$M_{\max} = \frac{q_p \cdot l^2}{8} = \frac{1692,0 \cdot 4,0^2}{8} = 3384,0 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Максимальная перерезывающая сила (на опоре):

$$Q_{\max} = \frac{q_p \cdot l}{2} = \frac{1692,0 \cdot 4,0}{2} = 3384,0 \text{ Н.}$$

Проверка прочности по нормальным напряжениям:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{3384,0}{0,000256688} = 13183346 \text{ Н/м}^2 = \\ &= 13,18 \text{ МПа} < R_{II}^p = 18,75 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

По касательным напряжениям:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{Q_{\max} \cdot S_x}{I_x \cdot b} = \frac{3384,0 \cdot 0,000192516}{0,000023744 \cdot 0,045} = 609729,7 \text{ Н/м}^2 = \\ &= 0,61 \text{ МПа} < R_{ск}^p = 1,96 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Проверка устойчивости плоской формы изгиба. Коэффициент устойчивости при изгибе по СП 64.13330⁴ равен (при $k_\phi = 1,13$, $l_p = l/4$ — принимаем, что балка раскреплена из плоскости через каждые 1 м):

$$\varphi_M = 140 \frac{b^2}{l_p \cdot h} k_\phi = 140 \cdot \frac{0,045^2}{1 \cdot 0,185} \cdot 1,13 = 1,73.$$

Тогда:

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_{\max}}{\varphi_M W_x} = \frac{3384,0}{1,73 \cdot 0,000256688} = 7613175,755 \text{ Н/м}^2 = \\ &= 7,61 \text{ МПа} < R_{II}^p = 18,75 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

Поскольку отношение $h/b = 185/45 = 4,11 > 4$, то необходимо выполнить расчет на прочность по главным площадкам приопорных участков балки, согласно приложению И СП 64.13330⁴.

Растягивающие напряжения от опорного давления при $y = 0$, $\eta = 0,016$:

$$\sigma_y^+ = \frac{2 \cdot Q_{\max} \cdot \eta}{b \cdot h} = \frac{2 \cdot 3384,0 \cdot 0,016}{0,185 \cdot 0,045} = 13007,6 \text{ Н/м}^2 = 0,013 \text{ МПа}.$$

Сжимающие σ_y^- от q :

$$\sigma_y^- = -\frac{q}{2 \cdot b} = \frac{1692}{2 \cdot 0,045} = -18800 \text{ Н/м}^2 = -0,019 \text{ МПа}.$$

$$\sum \sigma_y = \sigma_y^+ + \sigma_y^- = 0,013 - 0,019 = -0,006 \text{ МПа}.$$

Касательное напряжение:

$$\tau_{xy} = \frac{1,5 \cdot (Q_{\max} - q_p \cdot 1,1 \cdot h)}{b \cdot h} = \frac{1,5 \cdot (3384 - 1692 \cdot 1,1 \cdot 0,185)}{0,045 \cdot 0,185} = 547689,7 \text{ Н/м}^2 = 0,55 \text{ МПа}$$

Главное растягивающее напряжение:

$$\sigma_1 = 0,5 \cdot [\sum \sigma_y + \sqrt{(\sum \sigma_y)^2 + 4 \cdot \tau_{xy}^2}],$$
$$\sigma_1 = 0,5 \cdot \left[-0,006 + \sqrt{(-0,006)^2 + 4 \cdot 0,55^2} \right] = 0,547 \text{ МПа}.$$

Угол наклона α направления главного растягивающего напряжения σ_1 к волокнам определяется по формуле:

$$\alpha = 0,5 \cdot \arctg \frac{-2 \cdot \tau_{xy}}{\sum \sigma_y} = 0,5 \cdot \arctg \frac{-2 \cdot 0,55}{0,006} = 44,85^\circ.$$

Необходимо выполнить расчет под углом 45° с расчетным сопротивлением равным $R_{p,\alpha}^p = 0,67 \text{ МПа}$.

$$\sigma_1 = 0,547 \text{ МПа} < R_{p,\alpha}^p = 0,670 \text{ МПа}.$$

На основании выполненных проверок прочности по нормальным и касательным напряжениям, а также проверки устойчивости плоской формы изгиба и по главным площадкам напряжений установлено, что несущая способность балки обеспечена. Коэффициенты использования по различным условиям равны:

$$k_{\text{исп,max}} = \max \begin{cases} k_{\text{исп}}(\sigma) = 0,70, \\ k_{\text{исп}}(\tau) = 0,31, \\ k_{\text{исп}}(\varphi_M) = 0,41, \\ k_{\text{исп}}(\sigma_1) = 0,80. \end{cases}$$

Т. к. наибольший коэффициент использования получился при действии главных растягивающих напряжений под углом 45° , то расчет выполняется по этому параметру.

Определение вероятности безотказной работы LVL — балки выполнена методом итераций для момента эксплуатации, когда вероятность безотказной работы будет ниже минимально установленной.

$$x_{cp} = (121,3 \cdot 10^3 - 2,52 \cdot 10^{-4} \cdot 0,547 \cdot 10^6) / (8,314 \cdot 298) = 48,91.$$

$$x = \ln(\tau_c / \tau_0) = 46,539.$$

При сроке службы 93 года вероятность безотказной работы будет равна:

$$P_a = 0,5 + \Phi[(1 - 46,539 / 48,91) / 0,1] = 0,680238.$$

В результате срок службы конструкции до момента наступления аварийного состояния при действии главных растягивающих напряжений под углом 45° принимается 93 года.

Выводы по результатам исследования.

1. По результатам выполненных экспериментальных исследований получены зависимости кратковременной прочности LVL при растяжении от угла наклона волокон. Установлено превышение нормативного сопротивления, рассчитанного по СП 64.13330⁴, над экспериментальными данными при растяжении LVL под углом.

2. Выполненный расчет срока службы для балки междуэтажного перекрытия, где главное растягивающее напряжение действовало под углом 45° показал, что наступление аварийного технического состояния, при котором вероятно наступление отказа (исчерпание несущей способности) произойдет через 93 года после ввода объекта в эксплуатацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глухих В.Н, Черных А.Г. Анизотропия древесины. Технологический аспект: моногр. // Глухих В.Н, Черных А.Г.; СПбГАСУ. — СПб., 2013. — 240 с.
2. Черных А.Г., Григорьев К.С., Коваль П.С., Данилов Е.В., Бакрышева В.В., Кашапов И.Т. К вопросу определения несущей способности нагельных соединений в конструкциях из бруса, клееного из однонаправленного шпона (LVL) // Современные проблемы науки и образования. — 2012. — № 4. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=6643> (дата обращения: 16.10.2023).
3. Данилов, Е.В. К вопросу об НДС нагельных соединений из LVL. // Сборник научных трудов, посвященный 180-летию СПбГАСУ. СПбГАСУ, Санкт-Петербург, — 2012 г. — С. 54–57.
4. Исследование работы металлических и деревянных конструкций и оценка срока их службы с учетом условий эксплуатации: монография / А.Г. Черных, Е.И. Рыбнов, Н.А. Сенькин [и др.]: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021 — 358 с. — Текст: непосредственный.
5. Gerhards C.C. Time-related effects on wood strength: a linear cumulative damage theory // Wood Sci. 1979. No. 11(3). p. 139–144.
6. Barrett J.D., Foschi R.O. Duration of load and probability of failure of wood. Part 1. Modelling creep rupture // Can. J. of Civil Engineering. 1978. Vol. 5. № 4. p. 505–514.

7. Nielsen, L.F. (2000a) Lifetime and residual strength of wood subjected to static and variable load. Part I: Introduction and analysis. *European Journal of Wood and Wood Products*. 58(1-2): 81–90.
https://www.researchgate.net/publication/225438395_Lifetime_and_residual_strength_of_wood_subjected_to_static_and_variable_loadPart_I_Introduction_and_analysis.
8. Nielsen, L.F. (2000b) Lifetime and residual strength of wood subjected to static and variable load. Part II: Applications and design. *European Journal of Wood and Wood Products* 58(3): 141–152.
https://www.researchgate.net/publication/225655693_Lifetime_and_residual_strength_of_wood_subjected_to_static_and_variable_load_Part_II_Applications_and_design.
9. Иванов Ю.М. О методе оценки длительной прочности древесины и фанеры / Иванов Ю.М., Лобанов Ю.А. // ИВУЗ: Строительство. — Новосибирск, 1977. — № 9. — С 25–30.
10. Журков С.Н. Временная зависимость прочности при различных режимах нагружения / С.Н. Журков, Э.Е. Томашевский. // Некоторые проблемы прочности твердого тела: сборник статей, посвященный восьмидесятилетию академика АН УССР Н.Н. Давиденкова / Акад. наук СССР. — М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. — С. 68–75.
11. Регель В.Р., Кинетическая природа прочности твердых тел [Текст] / В.Р. Регель, А.И. Слуцкер, Э.Е. Томашевский. — Москва: Наука, 1974. — 560 с.
12. Найчук, А.Я. Длительная прочность древесины при растяжении под углом 60° к волокнам / А.Я. Найчук, А.В. Бондарь // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. — 2019. — № 1. — С. 95–98.
13. Найчук, А.Я. Учет изменения деформативных свойств древесины во времени при проектировании деревянных конструкций / А.Я. Найчук // Вестник Брестского государственного технического университета. — 2021. — № 1(124). — С. 24–28.
14. Орлович Р.Б., Найчук А.Я. О применении критериев длительной прочности в расчетах деревянных конструкций // Изв. вузов. Строительство и архитектура. — 1986. — № 5 — С. 15–19.
15. Фрейдин, А.С. Прочность и долговечность клеевых соединений / А.С. Фрейдин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Химия, 1981. — 270 с.
16. Корольков, Д.И. Определение сроков службы и остаточного ресурса LVL-конструкций при растяжении / Д.И. Корольков // Вестник Евразийской науки. — 2023. — Т 15. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/10SAVN423.pdf> (дата обращения: 16.10.2023).

Korolkov Dmitry Igorevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: korol9520@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8063-1878>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=945627

Chernykh Aleksandr Grigor'evich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: ag1825831@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9805-1428>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473049

Savin Sergei Nikolaevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: savinsn@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9369-8214>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=426347
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=56868321400>

Koval Pavel Sergeevich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: pkoval@lan.spbgasu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1911-5169>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=736713

Pukharenko Yriy Vladimirovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: push@lan.spbgasu.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=416932

Danilov Egor Vladimirovich

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: edanilov@lan.spbgasu.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8919-4600>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=825096
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57466590600>

The influence of fiber angle on the strength and service life of LVL structures

Abstract. LVL is used in construction for load-bearing and enclosing structures. A promising direction is wooden house construction using standardized LVL structures, reconstruction of floors of old housing stock, strengthening of wooden structures, addition of attic floors, construction of long-span and spatial structures. A wide selection of LVL standard sizes allows us to minimize labor costs and waste in the production of building structures both at the factory and on the construction site.

However, there is no data on the long-term strength and durability of LVL timber, which is one of the factors limiting its use in the Russian construction market. There is no information about the change in strength when a force is applied at an angle to the LVL fibers, which must be taken into account when designing nodal connections and sections of support zones.

The authors of the article conducted studies of the tensile strength of LVL at various fiber inclination angles. The dependences of the temporary strength of LVL beams were obtained at fiber inclination angles in the range from 0° to 60° with sample thicknesses of mm: 30, 39, 45, 51. A

comparative analysis of the experimental dependence of the standard tensile strength of LVL with the values of the standard resistance obtained according to SP 64.13330 was carried out. 2017.

The service life of an LVL beam for an interfloor floor has been calculated using a probabilistic method for a given minimum probability of failure-free operation until an emergency technical condition is reached. Based on the results of tests performed on normal and tangential stresses, stability and principal stresses, utilization factors were determined. The service life calculation was performed using principal stresses (at an angle of 45°).

This work was carried out as part of a dissertation research on the topic «Development of methods for assessing the residual life of load-bearing wooden structures».

Keywords: specification resistance; Laminated Veneer Lumber design; elongation; fiber angle; activation energy; service life; main tensile stress