

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

2024, Том 16, № 3 / 2024, Vol. 16, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/90SAVN324.pdf>

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

Ссылка для цитирования этой статьи:

Коваль, П. С. Исследование длительного модуля упругости LVL при кратковременных воздействиях /

П. С. Коваль, А. Э. Кушнир // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 3. — URL:

<https://esj.today/PDF/90SAVN324.pdf>

For citation:

Koval P.S., Kushnir A.E. Investigation of the long-term modulus of elasticity LVL under short-term effects. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(3): 90SAVN324. Available at: <https://esj.today/PDF/90SAVN324.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 69.07

Коваль Павел Сергеевич

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

Доцент кафедры «Металлических и деревянных конструкций»

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

Кушнир Анна Эдуардовна

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

E-mail: kushnir.ana@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1251538

Исследование длительного модуля упругости LVL при кратковременных воздействиях

Аннотация. Древесине и материалам на ее основе, таким как LVL, свойственно нелинейное поведение при кратковременных и длительных нагружениях, что оказывает существенное влияние на устойчивость конструкций во времени. Исходя из этого, одно из важнейших направлений в совершенствовании методов расчета деревянных конструкций — учет ползучести и нелинейных свойств материала. В связи с этим, перед авторами статьи поставлена цель разработать ускоренный метод расчета длительного модуля упругости при испытаниях с разными скоростями деформирования. В статье приведен теоретический анализ метода и его последующая апробация на малых образцах из клееного однонаправленного шпона (LVL-бруса) стандартных размеров, сжимаемых в ходе машинных испытаний в разных направлениях и при отличных друг от друга скоростях нагружения (60 мм/мин; 2 мм/мин; 0,2 мм/мин и 0,02 мм/мин). Результатами апробации разработанного метода стало значение модуля упругости для испытаний, проводимых на сжатие вдоль волокон: $E_{дл} = 2\,269,3$ МПа; для образцов, сжимаемых поперек волокон в плоскости слоев шпона: $E_{дл} = 1\,501,6$ МПа и для испытаний, проведенных на сжатие поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона $E_{дл} = 821,1$ МПа. В статье приведен анализ полученных результатов и предложения для дальнейшего развития полученного авторами ускоренного метода определения длительного модуля упругости для других напряженно-деформируемых состояний.

Ключевые слова: длительный модуль упругости; ползучесть; LVL; нелинейная механика; испытания; длительные нагружения; долговечность; сжатие

Введение

Конструкция из LVL-бруса — несущая конструкция, состоящая преимущественно из прямолинейных элементов, изготовленных путем склейки слоев шпона с параллельным расположением волокон и соединенных по ширине и длине податливыми связями. LVL (Laminated Veneer Lumber) представляет собой толстолистовой древеснослоистый композит, изготавливаемый из шпона хвойных или лиственных пород, либо их смеси, и предназначенный для проектирования и строительства деревянных конструкций. Данный конструкционный брус соединяется с помощью фенолоформальдегидных клеев и выпускается в двух основных вариантах: однонаправленном и перекрестно-клееном (через несколько слоев) [1].

Исходя из строения LVL-бруса, он относится к неоднородным материалам. Однако, стоит обратить внимание на то, что характеристика этой неоднородности отлична от таковой для цельной или клееной древесины. Также необходимо учитывать, что и сама древесина — исходное сырье для производства шпона — неоднородный слоистый материал с цилиндрической структурой.¹

Идеализированная схема строения древесины состоит из волокнистого скелета, обладающего упругими и пластическими свойствами, и аморфного вязкого заполнителя. Благодаря такому строению древесину можно назвать анизотропным и неоднородным материалом [2]. Однако если деревянный брус, при пренебрежении его неоднородностью, может рассматриваться как ортотропное тело с цилиндрической анизотропией либо как трансверсально-изотропное тело, то LVL максимально приближен к собственно ортотропной схеме анизотропии [3].

Для расчета систем, составленных из однородного материала, задачи линейной ползучести обычно сводятся к задачам теории упругости. При расчете систем из неоднородного материала необходимо прибегать к более комплексным методам вычислений, которые способны учитывать особенности поведения таких материалов во времени. Очень сложным является также расчет систем при наличии нелинейной ползучести, и здесь имеются решения лишь для ограниченного числа задач при частных видах нелинейных зависимостей деформаций от напряжений.

Методы

В основу предлагаемого ускоренного метода определения длительного модуля упругости LVL легли основные положения, рассматриваемые в области нелинейной механики и ползучести в трудах А.Р. Ржаницына, Ю.Н. Работнова, В.М. Бондаренко, С.И. Рощиной, К.П. Пятикрестовского, Р.С. Санжаровского и др. [4–9]. Нелинейная связь между напряжениями и деформациями может быть описана кусочно-линейными зависимостями для трех стадий, удовлетворяющими условию неразрывности деформаций, напряжений и скоростей деформирования при переходе от одной его стадии к другой:

¹ Расчет элементов строительных конструкций, клееных из однонаправленного шпона (LVL): Учебное пособие / А.Г. Черных, П.С. Коваль, Е.В. Данилов, Ш.М. Мамедов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. — Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2019. — 125 с. — ISBN 978-5-9227-0977-4. — EDN PJYGBP. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=53814029>.

• на первой стадии деформирования ползучесть является обратимой, подчиняется основным положениям линейной теории ползучести:

$$n \cdot E_{\text{мгн}} \cdot \varepsilon'(t) + E_{\text{дл}} \cdot \varepsilon = \sigma + n \cdot \sigma'(t); \quad (1)$$

• на второй стадии — установившейся ползучести — деформирование идет с постоянной скоростью нарастания деформаций ползучести (при постоянных нагрузках), деформации здесь большей частью необратимы:

$$n \cdot E_{\text{мгн}} \cdot \varepsilon'(t) = \sigma + n \cdot \sigma'(t) - \sigma_{\text{дл}}; \quad (2)$$

• на третьей стадии имеет место критическое нарастание необратимых деформаций во времени стадия с возрастающей скоростью деформирования:

$$n \cdot E_{\text{мгн}} \cdot \varepsilon'(t) - B \cdot \varepsilon = \sigma + n \cdot \sigma'(t) - \sigma_{\text{дл}}, \quad (3)$$

где B — константа, имеющая смысл модуля деформации при критическом нарастании деформаций; n — время релаксации материала; $\sigma_{\text{дл}}$ — длительный предел прочности; σ — напряжения; ε — деформации в элементе под действием нагрузки; $E_{\text{мгн}}$ — мгновенный модуль упругости; $E_{\text{дл}}$ — длительный модуль упругости.

Переход из одной стадии в другую определяется величиной максимальной относительной деформации, критической для каждой стадии.

Для решения поставленных задач, предлагается вывести формулу на основании теории нелинейной ползучести материала и исходя из испытаний, проводимых при различной скорости нагружения, получить выражение $E_{\text{дл}}$. Выведенные закономерности будут являться методом ускоренного определения длительного модуля упругости.

Так как переход к чрезмерно усложненным схемам строения материала практически не вносит изменений в законы деформирования, но при этом приводит к серьезным трудностям в расчетах [5], за теоретическую основу для разработки методики предлагается использовать формулу (1) для первой стадии деформирования. Для решения многих задач целесообразно остановиться на законе деформирования, имеющем вид (1).

По [4], для случая равномерного увеличения деформаций, формула (1) приобретает вид:

$$n \cdot E_{\text{мгн}} \cdot v + E_{\text{дл}} \cdot v \cdot t = \sigma + n \cdot \sigma'(t). \quad (4)$$

В [4] предлагается следующее решение:

$$\sigma = E_{\text{дл}} \cdot v \cdot t + \sigma_0 \cdot e^{-t/n} + n(E_{\text{мгн}} - E_{\text{дл}}) \cdot (1 - e^{-t/n})v, \quad (5)$$

где σ_0 — величина начального напряжения.

При начальных условиях нагружения, величина начального напряжения принимается равной нулю, соответственно имеем следующее выражение:

$$\varepsilon_0 = \sigma_0 / E_{\text{мгн}}. \quad (6)$$

Отсюда находим:

$$\sigma = E_{\text{дл}} \cdot v \cdot t + n(E_{\text{мгн}} - E_{\text{дл}})v(1 - e^{-t/n}). \quad (7)$$

Из формулы (7) необходимо выразить длительный модуль упругости ($E_{\text{дл}}$). Совершив некоторые математические преобразования получаем:

$$E_{\text{мгн}} = E_{\text{дл}} + \frac{1}{n(1 - e^{-t/n})} \cdot (\sigma/v - E_{\text{дл}} \cdot t). \quad (8)$$

Задавшись тем, что при различных скоростях приложения нагрузки мгновенный модуль упругости является постоянным значением, можно приравнять обе части уравнения:

$$E_{\text{дл}} + \frac{1}{n(1 - e^{-t/n})} \cdot (\sigma/v - E_{\text{дл}} \cdot t) = E_{\text{дл}} + \frac{1}{n(1 - e^{-t/n})} \cdot (\sigma/v - E_{\text{дл}} \cdot t). \quad (9)$$

Отсюда, упростив выражение, получаем формулу, которая позволяет найти длительный модуль упругости ускоренным методом при испытаниях с использованием разных скоростей нагружения:

$$E_{\text{дл}} = \frac{1}{t_i - t_k} \cdot \left(\frac{\sigma_i}{v_i} - \frac{\sigma_k}{v_k} \right), \quad (10)$$

где индексы i и k приняты для обозначения переменного времени и скорости нагружения.

Полученная формула для нахождения длительного модуля упругости при различных скоростях деформирования существенно сокращается время проведения испытаний и позволяет контролировать условия эксперимента и сохранять как можно дольше необходимую для испытаний среду.

Результаты

Для апробации предложенной методики (9) ускоренного нахождения $E_{\text{дл}}$ при различных скоростях нагружения, предлагается проанализировать данные экспериментальных исследований², полученных в лаборатории СПбГАСУ Е.В. Даниловым, П.С. Ковалем, А.В. Тихомировым, Д.И. Корольковым под руководством А.Г. Черных.

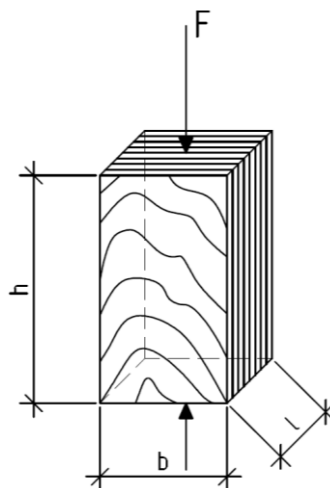


Рисунок 1. Схема испытаний образца LVL на сжатие вдоль волокон размерами $75 \times 75 \times 135(h)$ (разработано авторами)

² Исследование долговечности бруса клееного многослойного из шпона (далее — LVL — Laminated Veneer Lumber) и обоснование сроков службы для строительных LVL — конструкций: отчет о НИОКР / ФГБОУ ВО «СПбГАСУ»; рук. А.Г. Черных; исполн.: Е.В. Данилов, П.С. Коваль, А.В. Тихомиров, М.Б. Москалев, О.С. Данилевич. Санкт-Петербург, 2023. С. 84–160. № НИОКТР 123051700023-2.

Исходными данными являются размеры образцов LVL 75×75×135 и 89×75×135 (рис. 1–3). Нагружение осуществляется согласно ГОСТ 33124-2021 до разрушения образца непрерывно действующей нагрузкой со скоростью перемещения нагружающего приспособления от 0,2 до 60 мм/мин, при этом образец должен разрушиться через (300 ± 120) с после начала нагружения. В таблицах 1–3 занесены полученные в исследовании² экспериментальные данные при сжатии образцов, исходя из которых планируется апробировать формулу (9).

Таблица 1

**Результаты статистической обработки испытаний на сжатие
вдоль волокон образцов LVL при различных скоростях нагружения**

Серия испытаний	Скорость нагружения w , мм/мин	Количество наблюдений в серии n , шт.	Среднее значение разрушающей нагрузки $R_{ср\ max}$, кН	Среднее время до разрушения $t_{ср}$, с	Среднее выборочное значение прочности $\sigma_{ср}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа	Средняя ошибка среднего арифметического, МПа	Выборочный коэффициент вариации	Показатель точности среднего значения
75×75×135(h) мм									
1	60	10	329,15	3,03	57,21	5,793	1,832	0,1013	0,0320
2	2	10	297,79	85,77	52,06	3,114	0,985	0,0598	0,0189
3	0,2	10	279,61	801,84	48,54	3,922	1,240	0,0808	0,0256
4	0,02	10	277,01	8 843,24	48,59	3,77	1,192	0,0776	0,0245

Составлено авторами

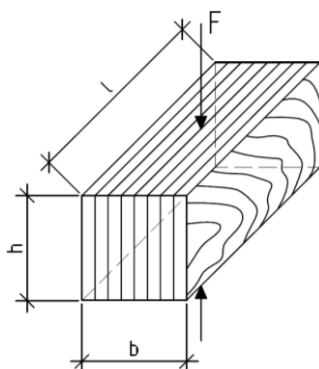


Рисунок 2. Схема испытаний образца LVL на сжатие поперек волокон в плоскости слоев шпона размерами 75(h)×75×135 (разработано авторами)

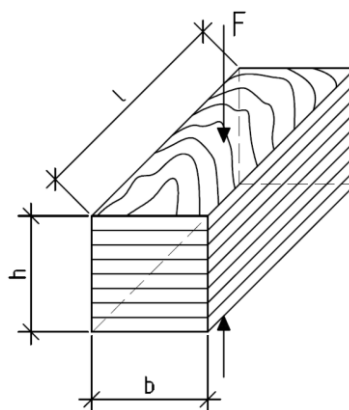


Рисунок 3. Схема испытаний образца LVL при определении прочности на сжатие поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона размерами 89(h)×75×135 (разработано авторами)

Таблица 2

Результаты статистической обработки испытаний на сжатие поперек волокон образцов LVL при различных скоростях нагружения

Серия испытаний	Скорость нагружения w , мм/мин	Количество наблюдений в серии n , шт.	Среднее значение разрушающей нагрузки $R_{\text{ср. max}}$, кН	Среднее время до разрушения $t_{\text{ср}}$, с	Среднее выборочное значение прочности $\sigma_{\text{ср}}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа	Средняя ошибка среднего арифметического, МПа	Выборочный коэффициент вариации	Показатель точности среднего значения
75(h)×75×135 мм									
1	60	10	105,07	4,16	10,26	0,720	0,228	0,0702	0,0222
2	2	10	117,55	96,52	9,35	0,508	0,161	0,0543	0,0172
3	0,2	10	90,93	1 224,76	8,74	0,454	0,144	0,0520	0,0164
4	0,02	10	82,24	12 348,59	7,94	0,42	0,132	0,0525	0,0166

Составлено авторами

Таблица 3

Результаты статистической обработки испытаний на сжатие поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона образцов LVL при различных скоростях нагружения

Серия испытаний	Скорость нагружения w , мм/мин	Количество наблюдений в серии n , шт.	Среднее значение разрушающей нагрузки $R_{\text{ср. max}}$, кН	Среднее время до разрушения $t_{\text{ср}}$, с	Среднее выборочное значение прочности $\sigma_{\text{ср}}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение, МПа	Средняя ошибка среднего арифметического, МПа	Выборочный коэффициент вариации	Показатель точности среднего значения
89(h)×75×135 мм									
1	60	10	49,78	5,09	4,13	0,2343	0,0741	0,0567	0,0179
2	2	10	46,05	150,35	3,83	0,2492	0,0788	0,0651	0,0206
3	0,2	10	45,23	1 537,0	3,76	0,1828	0,0578	0,0486	0,0154
4	0,02	10	46,04	8 032,5	3,82	0,3126	0,0988	0,0817	0,0258

Составлено авторами

Для нахождения длительного модуля упругости из формулы (9) необходимо определить деформации в материале образца. Для случая сжатия, где перемещения равны скорости перемещения нагружающего устройства, формула (9) приобретет следующий вид:

$$E_{\text{дл}} = \frac{h}{t_i - t_k} \cdot \left(\frac{\sigma_i}{w_i} - \frac{\sigma_k}{w_k} \right). \quad (10)$$

В таблицах 4–6 резюмированы исходные данные для подстановки в формулу (10), в таблицах 7–9 указаны сочетаемые скорости деформирования и полученный длительный модуль упругости исходя из испытаний с различными скоростями приложения нагрузки.

Таблица 4

Исходные характеристики рассчитываемых образцов, сжимаемых вдоль волокон

№ серии	Скорость нагружения w , мм/мин	Среднее время до разрушения t_{cp} , с	Среднее арифметическое значение прочности σ_{cp} , МПа
1	60	3,03	57,21
2	2	85,77	52,06
3	0,2	801,84	48,54
4	0,02	8 843,24	45,59

Составлено авторами

Таблица 5

Исходные характеристики рассчитываемых образцов, сжимаемых поперек волокон в плоскости слоев шпона

№ серии	Скорость нагружения w , мм/мин	Среднее время до разрушения t_{cp} , с	Среднее арифметическое значение прочности σ_{cp} , МПа
1	60	4,16	10,26
2	2	96,52	9,35
3	0,2	1 224,76	8,74
4	0,02	12 348,59	7,94

Составлено авторами

Таблица 6

Исходные характеристики рассчитываемых образцов, сжимаемых поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона

№ серии	Скорость нагружения w , мм/мин	Среднее время до разрушения t_{cp} , с	Среднее арифметическое значение прочности σ_{cp} , МПа
1	60	5,09	4,13
2	2	150,35	3,83
3	0,2	1 537,00	3,76
4	0,02	8 032,50	3,82

Составлено авторами

Таблица 7

Полученные значения длительного модуля упругости для образцов, сжимаемых вдоль волокон

№ сочетаемых скоростей	Полученное значение длительного модуля упругости $E_{дл}$, МПа	Среднее значение $E_{дл}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение s , МПа	Средняя ошибка среднего арифметического s_x , МПа	Выборочный коэффициент вариации v	Показатель точности среднего значения ξ
4-1	2 087,8	2 269,3	207,3	84,64	9,14	5,7
4-3	2 051,6					
4-2	2 084,3					
3-1	2 451,3					
3-2	2 450,9					
2-1	2 454,9					

Составлено авторами

Таблица 8

Полученные значения длительного модуля упругости для образцов, сжимаемых поперек волокон

№ сочетаемых скоростей	Полученное значение длительного модуля упругости $E_{дл}$, МПа	Среднее значение $E_{дл}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение s , МПа	Средняя ошибка среднего арифметического s_x , МПа	Выборочный коэффициент вариации v	Показатель точности среднего значения ξ
4-1	1 446,6	1 501,6	294,1	120,1	19,6	12,14
4-3	1 429,23					
4-2	1 440,95					
3-1	1 604,8					
3-2	1 556,5					
2-1	2 194,5					

Составлено авторами

Таблица 9

Полученные значения длительного модуля упругости для образцов, сжимаемых поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона

№ сочетаемых скоростей	Полученное значение длительного модуля упругости $E_{дл}$, МПа	Среднее значение $E_{дл}$, МПа	Среднее квадратическое отклонение s , МПа	Средняя ошибка среднего арифметического s_x , МПа	Выборочный коэффициент вариации v	Показатель точности среднего значения ξ
4-1	1 070,3	821,1	308,5	125,96	37,6	23,3
4-3	1 192,98					
4-2	1 079,5					
3-1	550,2					
3-2	547,9					
2-1	571,9					

Составлено авторами

Обсуждение

В ходе анализа испытаний² и применения по отношению к ним метода ускоренного определения длительного модуля упругости были получены следующие значения: $E_{дл} = 2 269,3$ МПа (сжатие вдоль волокон), $E_{дл} = 1 501,6$ МПа (сжатие поперек волокон), $E_{дл} = 821,1$ МПа (сжатие поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона).

Стоит обратить внимание на то, что сочетание медленных скоростей деформирования образцов дает в результате длительный модуль упругости меньшего значения, чем при самых быстрых скоростях. Это можно объяснить началом процесса релаксации в материале.

Выводы

Таким образом на основании теоретических исследований и анализа метода нахождения длительного модуля упругости и его апробации на образцах из LVL, можно сделать следующие выводы:

1. Исходя из теоретического анализа [4] и на основе подхода с выполнением испытаний на разных скоростях была получена формула для получения длительного модуля упругости при различных скоростях нагружения.
2. Из анализа данных, проведенных ранее испытаний, были получены значения, которые позволили применить разработанную методику при сжатии и найти длительный модуль упругости LVL, который составил $E_{дл} = 2\,269,3$ МПа (сжатие вдоль волокон), $E_{дл} = 1\,501,6$ МПа (сжатие поперек волокон), $E_{дл} = 821,1$ МПа (сжатие поперек волокон перпендикулярно плоскости слоев шпона).
3. Для случая изгиба задача предстает более трудоемкой по причине того, что для сжимаемых элементов скорость роста деформации равна скорости приложения нагрузки, а в случае изгиба, эти характеристики не равны друг другу, так как перемещение нагружающего устройства происходит в вертикальном направлении, а деформация материала образца — вдоль его искривленной оси. Кроме того, при определении модуля упругости по исследованию² для принятой схемы испытаний с четырехточечным изгибом скорость нагружения соответствует скорости приращения прогибов в местах приложения сил, в то время как модуль упругости определяется для растянутых волокон в середине пролета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сравнительный анализ результатов определения длительной прочности древесины и LVL ускоренным методом при сжатии вдоль волокон / А.Г. Черных, В.Н. Глухих, П.С. Коваль [и др.] // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15, № 6. — EDN GQUYJS. URL: <https://esj.today/author/elena-ven-ru-865/page/16> (дата обращения: 31.03.2024).
2. Тюленева, Е.М. Уточнение реологической модели древесины / Е.М. Тюленева // Хвойные бореальной зоны. — 2008. — Т. 25, № 1-2. — С. 179–183. — EDN JYJFZR (дата обращения: 31.05.2024).
3. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела. М.: Наука, 1977, с. 415.
4. Ржаницын А.Р. Теория ползучести. — М.: Стройиздат, 1968 — 416 с.
5. Ржаницын А.Р. Теоретические предпосылки к построению методов расчета деревянных конструкций во времени. — В кн.: Исследования прочности и деформативности древесины. — М., Госстройиздат, 1956 — 21–31 с.
6. Пятикрестовский, К.П. К вопросу о выборе модулей упругости при расчете деревянных конструкций на прочность, устойчивость и по деформациям / К.П. Пятикрестовский // Строительная механика и расчет сооружений. — 2012. — № 6. — С. 73–79.
7. Бондаренко В.М., Пятикрестовский К.П. Длительное силовое деформирование структурированных материалов // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2017. № 6.
8. Роботнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю.Н. Роботнов // М.: Наука. — 1966. — 752 с. URL: <https://lib-bkm.ru/13795> (дата обращения: 07.06.2024).

9. Беглов А.Д., Санжаровский Р.С., Тер-Эммануильян Т.Н. Современная теория ползучести железобетона // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2024. № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennaya-teoriya-polzuchesti-zhelezobetona> (дата обращения: 20.06.2024).
10. Расчет изгибаемых элементов с учетом физической нелинейности деформирования / М.А. Рязанов, И.И. Шишов, С.И. Рощина, М.В. Лукин // Вестник Белгородского государственного технологического университета имени В.Г. Шухова. — 2016. — № 12. — С. 58–64. — DOI 10.12737/22764. — EDN XBFACX.
11. Обзор исследований, нормирования и применения LVL бруса в отечественной и зарубежной строительной практике / А.Г. Черных, Е.В. Данилов, П.С. Коваль, Ш.М. Мамедов // Вестник гражданских инженеров. — 2020. — № 1(78). — С. 100–106. — DOI 10.23968/1999-5571-2020-17-1-100-106.
12. Watanabe S. An approach to visco-elastic behaviors with a mathematical method // Journal of the Textile Machinery Society of Japan. 1959. V. 5. Issue 2. P. 10–13. URL: https://www.researchgate.net/publication/271392402_An_Approach_to_Visco-Elastic_Behaviors_with_a_Mathematical_Method (дата обращения: 20.06.2024).
13. Mainardi F., Spada G. Creep, relaxation and viscosity properties for basic fractional models in rheology // Eur. Phys. J. Special Topics. 2011. V. 193. P. 133–160. URL: <https://link.springer.com/article/10.1140/epjst/e2011-01387-1> (дата обращения: 20.06.2024).
14. Bahraini S.M.S., Eghtesad M., Farid M., Ghavanloo E. Large deflection of viscoelastic beams using fractional derivative model // J. Mech. Sci. Technol. 2013. V. 27. № 4. P. 1063–1070. URL: https://www.researchgate.net/publication/257775367_Large_deflection_of_viscoelastic_beams_using_fractional_derivative_model (дата обращения: 20.06.2024).
15. Bagley R.L., Torvik P.J. Fractional calculus — a different approach to the analysis of viscoelastically damped structures // AIAA J. 1983. V. 21. P. 741–748. URL: https://www.researchgate.net/publication/253929464_Fractional_Calculus_-_A_Different_Approach_to_the_Analysis_of_Viscoelastically_Damped_Structures (дата обращения: 20.06.2024).
16. Zvyagin V., Orlov V. On strong solutions of fractional nonlinear viscoelastic model of Voigt type // Math. Methods Appl. Sci. V. 44. P. 11768–11782 (2021). URL: https://www.researchgate.net/publication/340031099_On_strong_solutions_of_fractional_nonlinear_viscoelastic_model_of_Voigt_type (дата обращения: 20.06.2024).
17. Smit W., de Vries H. Rheological models containing fractional derivatives // Rheol. Acta. 1970. V. 9. P. 525–534. URL: https://www.researchgate.net/publication/227109465_Rheological_models_containing_fractional_derivatives?_sg=m5lzN_4EV_u5sY4i_EU1cm9XECsqZ6rd93HJ6QRE5dDRYci3d_pyK97NmqC9cCF4vNt63eEqc3Hh_KU&_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6Ii9kaXJlY3QifX0 (дата обращения: 20.06.2024).
18. Caputo M., Mainardi F. Linear models of dissipation in anelastic solids // Riv. Nuovo Cimento. 1971. V. 1. № 2. P. 161–198. URL: https://www.researchgate.net/publication/225542568_Linear_Models_of_Dissipation_in_Anelastic_Solids (дата обращения: 20.06.2024).

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

Kushnir Anna Eduardovna

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, Russia
E-mail: kushnir.ana@mail.ru
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1251538

Investigation of the long-term modulus of elasticity LVL under short-term effects

Abstract. Wood and materials based on it, such as LVL, are characterized by nonlinear behavior under short-term and long-term loads, which has a significant impact on the stability of structures over time. Based on this, one of the most important directions in improving the methods of calculating wooden structures is taking into account creep and nonlinear properties of the material. In this regard, the authors of the article set a goal to develop an accelerated method for calculating the long-term modulus of elasticity in tests with different deformation rates. The article presents a theoretical analysis of the method and its subsequent testing on samples of glued unidirectional veneer (LVL-timber) with dimensions of 75×75×135 mm, compressed during machine tests in different directions and at different loading speeds (60 mm/min; 2 mm/min; 0,2 mm/min and 0,02 mm/minmin). The results of the approbation of the developed method were the value of the modulus of elasticity for compression tests along the fibers: $E_{d1} = 2\,269,3$ MPa; for samples compressed across the fibers in the plane of the veneer layers: $E_{d1} = 1\,501,6$ MPa and for compression tests performed across the fibers perpendicular to the plane of the veneer layers $E_{d1} = 821,1$ MPa. The article provides an analysis of the results obtained and suggestions for further development of the accelerated method of determining the long-term modulus of elasticity for other VAT obtained by the authors.

Keywords: long-term modulus of elasticity; creep; LVL; nonlinear mechanics; testing; long-term loading; durability; compression