



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 691.116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ *LVL* С РАЗЛИЧНЫМ СОЧЕТАНИЕМ ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ СЛОЕВ ШПОНА

Е.Ю. Циулин, асп.

А.Б. Шмидт, канд. техн. наук, доц.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2-я Красноармейская ул, д. 4, Санкт-Петербург, Россия 190005;
e-mail: eciulin@edu.spbgasu.ru, shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Комбинированные составные несущие конструкции, такие как клефанерные, являются наиболее рациональными по материалоемкости по сравнению с обычными клеешпунными или клеешпунными конструкциями той же несущей способности. Однако конструктивные особенности и некоторые сложности изготовления снижают экономическую эффективность клеешпунных конструкций. Появление материала *LVL* и возможность использования различных его типов вместо фанерных стенок и дощатых поясов позволяют значительно повысить эффективность и расширить область применения комбинированных конструкций составного двутаврового или коробчатого сечения. Важной проблемой, которая затрудняет широкое использование комбинированных конструкций с *LVL*, является то, что в современных российских нормах проектирования отсутствует информация о значении модуля упругости под разным углом к волокнам древесины в пакете *LVL*. Эта информация необходима для расчета конструкций, например по методу приведенного сечения. В статье приводятся описание создания конечно-элементных моделей и результаты конечно-элементного анализа анизотропии модуля упругости материала *LVL* марки «Ultralam» с различным количеством слоев и сочетанием их укладки по взаимно-перпендикулярному и параллельному расположению в них волокон древесины. Для исследования использовали численное моделирование испытаний *LVL* на изгиб методом конечных элементов согласно ГОСТ 33124–2014 в программе SCAD. Полученные данные обрабатывали в программных комплексах Mathcad и Excel. В результате были получены простые аналитические зависимости, позволяющие вычислять модуль упругости конструкций всех типов и толщин *LVL* марки «Ultralam» под любым заданным углом к волокнам древесины слоев.

Ключевые слова: *LVL* брус марки «Ultralam», модуль упругости, метод конечных элементов, численный эксперимент, деревянные конструкции, клееные деревянные конструкции.

Для цитирования: Циулин Е.Ю., Шмидт А.Б. Численное моделирование модуля упругости *LVL* с различным сочетанием взаимно перпендикулярных слоев шпона // Лесн. журн. 2018. № 6. С. 138–148. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

Введение

В строительстве несущие клефанерные конструкции считаются наиболее экономичными в силу рациональности поперечного сечения (двухавровое, коробчатое или двухаврово-коробчатое) [4, 8]. Однако низкая технологичность изготовления таких конструкций [7] тормозит их широкое применение. С появлением плит и *LVL (Laminated Veneer Lumber)* бруса [9–15] использование сечений по типу клефанерных становится весьма перспективным как в конструктивном, так и технологическом плане. Для таких конструкций значительно (до 40...50 м) возрастает длина пролета, пропадает необходимость устройства конструктивных стыков стенок, увеличивается диапазон размеров поясов стенок как по сечению, так и по длине (до 20 м). Появляется возможность создавать унифицированные конструкции ломаного рационального очертания, двухаврово-коробчатого сечения с типизированными конструктивными элементами и сечениями.

Расчет и проектирование таких конструкций по нормам [3, 5] следует выполнять с использованием метода приведенного сечения, для чего необходимо знать модули упругости стенки и поясов под разными углами в участках перелома осей элементов конструкций. Однако в нормах [1, 2, 5, 6] отсутствуют значения модуля упругости для *LVL* бруса под разными углами к волокнам древесины шпона, поэтому проектирование становится некорректным.

Цель исследования – определение модуля упругости в плоскости листа для различных типов и толщин *LVL* марки «Ultralam» под разными углами (от 0 до 90° с шагом 5°) к направлению волокон наружных слоев и при известных значениях модулей упругости каждого слоя вдоль и поперек его волокон.

Для достижения поставленной цели был выбран метод численного моделирования испытаний образца *LVL* в соответствии с действующими нормами [2].

Объекты и методы исследования

В ходе исследования решались следующие задачи.

1. Выбрать расчетную схему, соответствующую схеме испытаний на изгиб по ГОСТ 33124–2014 «Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия» [2].

2. Построить методом конечных элементов (МКЭ) модели экспериментальных образцов в виде многослойных пластинчатых конечных элементов с анизотропными (ортотропными) свойствами, соответствующими реальным свойствам *LVL* «Ultralam» разных марок.

3. Построить модель нагружения конечно-элементного образца *LVL* на изгиб двумя силами по методике [2] для определения модуля упругости E .

4. Реализовать МКЭ численный эксперимент, используя программно-вычислительный комплекс (ПВК) SCAD.

5. Построить графические зависимости E от угла α расположения слоев относительно оси образца.

6. Подобрать аппроксимирующие зависимости E – α в виде аналитических выражений и наглядных диаграмм.

Расчетная схема испытаний на изгиб согласно [2] при установке образца «по кромке» (т. е. с вертикальным расположением клеевых швов между слоями шпона) представлена на рис 1.

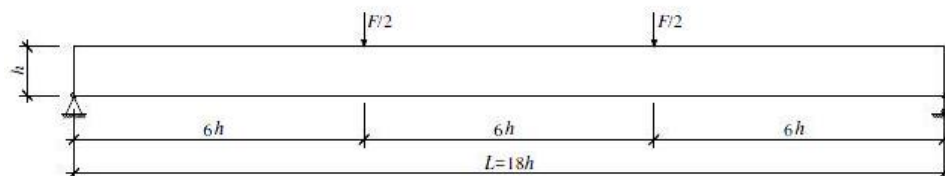


Рис. 1. Расчетная схема согласно [2] при установке образца «по кромке»

Fig. 1. Calculation model according to [2] when installing the sample along the edge

По методике, изложенной в [2], поочередно прикладываются нагрузки F_1 и F_2 (где $F_1 = 0,1 F_{\max}$, $F_2 = 0,4 F_{\max}$), измеряются прогибы (соответственно f_1 и f_2), определяется модуль упругости:

$$E = \frac{3aL^2(F_2 - F_1)}{4bh^2(f_2 - f_1)}, \quad (1)$$

где $a = 6h$; L – пролет балки; b – ширина сечения; h – высота сечения.

Значение F_{\max} находится в зависимости от временного сопротивления изгибу под разным углом к волокнам древесины $R_{\text{и}\alpha}^{\text{вр}}$, которое согласно СП 64.13330.2017 [5] рассчитывается как

$$R_{\text{и}\alpha}^{\text{вр}} = \frac{R_{\text{и}}^{\text{вр}}}{1 + \left(\frac{R_{\text{и}}^{\text{вр}}}{R_{\text{и}90}^{\text{вр}}} - 1 \right) \sin^3 \alpha}. \quad (2)$$

В табл. 1 отображено расположение слоев шпона для различных типов и толщин LVL марки «Ultralam» согласно СТО 36554501-021–2010 [6].

Таблица 1

Схема расположения слоев шпона для LVL «Ultralam»

Толщина плиты, мм	Тип R		Типы X и I		
	Число слоев, шт.	Расположение слоев	Число слоев, шт.	В том числе поперечных, шт.	Расположение слоев
19	7	IIIIII	7	2 или 3	I-III-I или I-I-I-I
21	7	IIIIII	7	2	I-III-I или II-I-II
27	9	IIIIIIII	9	2	II-III-II
33	11	IIIIIIIII	11	2	II-III-II
39	13	IIIIIIIIII	13	2	II-III-II
45	15	IIIIIIIIIII	15	4	II-II-III-II-II

Окончание табл. 1

Толщина плиты, мм	Тип R		Типы X и I		
	Число слоев, шт.	Расположение слоев	Число слоев, шт.	В том числе поперечных, шт.	Расположение слоев
51	17	IIIIIIIIIIIIIIIIII	17	3	II-III-III-II-II
57	19	IIIIIIIIIIIIIIIIII	19	4	II-II-III-II-II-II
60	20	IIIIIIIIIIIIIIIIII	20	4	II-II-III-II-II-II
63	21	IIIIIIIIIIIIIIIIII	21	5	II-II-III-III-II-II
69	23	IIIIIIIIIIIIIIIIII	23	5	II-III-III-III-III-II
75	25	IIIIIIIIIIIIIIIIII	25	5	II-III-III-III-III-II
90	30	IIIIIIIIIIIIIIIIII	30	4	II-III-III-III-III-II
100	33	IIIIIIIIIIIIIIIIII	33	5	II-III-III-III-III-II
106	35	IIIIIIIIIIIIIIIIII	35	5	II-III-III-III-III-II

Для создания моделей образцов использовали графический комплекс AutoCAD-2015 с инструментами «3D грань» и «отрезок».

На рис. 2 изображена модель балки для случая, когда все слои шпона расположены вертикально и параллельно продольной оси балки. Пролет «экспериментальной» балки $L = 1800$ мм, высота сечения $h = 100$ мм, ширина сечения b равняется толщине листа LVL.

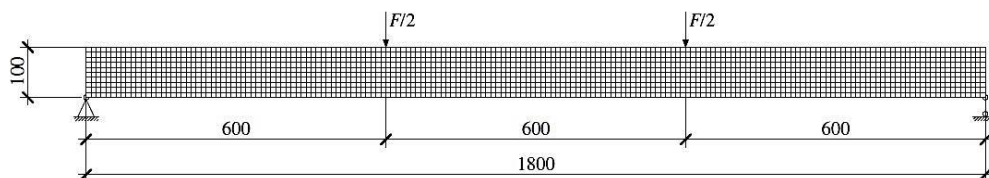


Рис. 2. Общий вид экспериментальной балки, в которой все слои шпона расположены параллельно продольной оси

Fig. 2. General view of the experimental beam, where all the veneer layers are parallel to the longitudinal axis

Таким образом, были созданы модели 14 «экспериментальных» балок для всех толщин листа (от 21 до 106 мм) (табл. 1).

После экспорта модели в формате *dxf* в ПК SCAD 11.5 каждой 3D грани назначался пластинчатый конечный элемент (КЭ) и присваивались свойства ортотропного тела: значения модулей упругости и коэффициентов Пуассона в соответствии с расположением слоев шпона в пакете LVL типов R и X [6]. Тип I, изготавливаемый из шпона 3-4 сорта [6], не рассматривался. Отрезки, соединяющие пластины в поперечном направлении, моделировались абсолютно жесткими вставками (стержневой КЭ) (рис. 3, 4). Таким образом, обеспечивалась совместная работа слоев и моделировалось клеевое соединение.

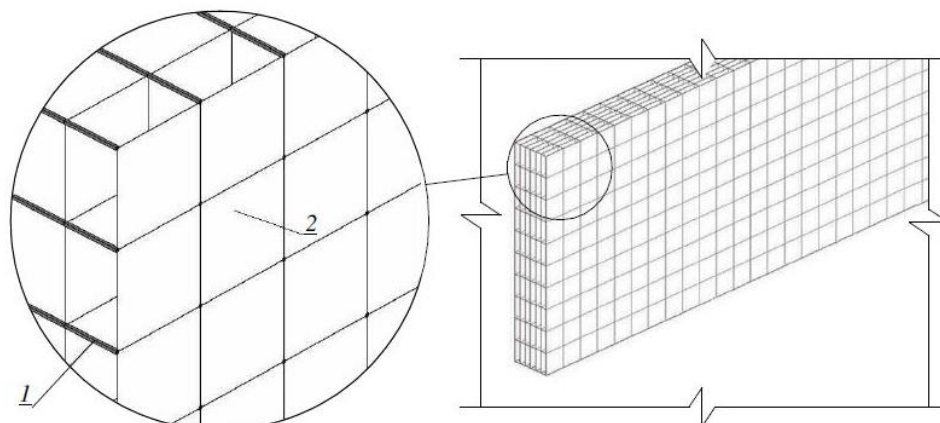


Рис. 3. Общий вид КЭ балки, в которой все слои шпона расположены вертикально и параллельно продольной оси балки, взаимно перпендикулярные оси анизотропии пластин – параллельно горизонтальным и вертикальным направлениям: 1 – стержень КЭ (абсолютно жесткая вставка); 2 – пластинчатый КЭ (количество слоев – согласно табл. 1)

Fig. 3. General view of FE (finite element) of the beam, where all the veneer layers are arranged vertically and parallel to the longitudinal axis of the beam and mutually perpendicular axes of anisotropy of plates are parallel to the horizontal and vertical directions: 1 – bar FE (absolutely rigid insertion); 2 – plate FE (number of layers according to the tabel 1)

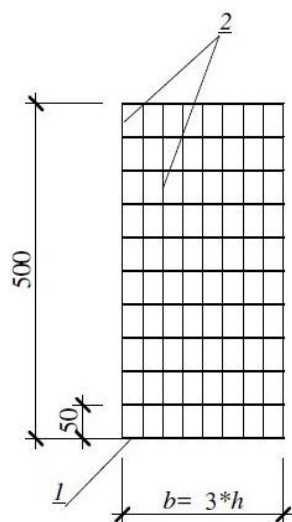


Рис. 4. Поперечное сечение КЭ балки, в которой все слои шпона расположены вертикально и параллельно продольной оси балки, взаимно перпендикулярные оси анизотропии пластин – параллельно горизонтальным и вертикальным направлениям: 1 – стержень КЭ (абсолютно жесткая вставка); 2 – пластинчатый КЭ; h – количество слоев согласно табл. 1 [6]

Fig. 4. Cross section of beam FE, where all the veneer layers are arranged vertically and parallel to the longitudinal axis of the beam and mutually perpendicular axes of anisotropy of plates are parallel to the horizontal and vertical directions: 1 – core of FE (absolutely rigid insertion); 2 – plate FE; h – number of layers according to the table 1 [6]

Так как в ПВК Scad 11.5 отсутствует возможность поворота осей пластинчатых элементов на заданный угол, а значит и осей ортотропии тоже, то для моделирования случая расположения слоев под разным углом к продольной оси элемента в плоскости изгиба было решено вращать непосредственно пластинчатые элементы на угол от 0 до 90° с шагом 5°.

Пример сформированной модели экспериментальной балки с аналогичными пролетом и высотой сечения с пластинчатыми элементами, развернутыми под углом 30° к продольной оси, представлен на рис. 5.

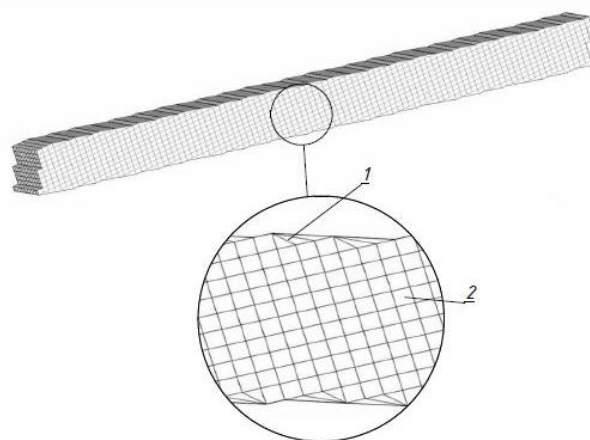


Рис. 5. Общий вид экспериментальной балки с пластинчатыми элементами (слоями шпона), развернутыми под углом 30° к продольной оси балки: 1 – треугольный КЭ; 2 – прямоугольный КЭ

Fig. 5. General view of the experimental beam with plate elements (veneer layers) deployed at an angle of 30° to the longitudinal axis of the beam: 1 – triangular FE; 2 – rectangular FE

Для «сглаживания» получившихся при повороте пластин «неровностей» использовали треугольные КЭ с осями ортотропии, параллельными осям прямоугольных КЭ.

В результате моделирования для численного эксперимента было создано 810 моделей элементов с разным числом слоев (и соответственно толщин), а также их сочетаний при углах наружных слоев от 0 до 90° с шагом 5° . Это эквивалентно 4050 образцам при натуральных испытаниях (по 5 шт. минимум на каждый вид образца) и материалоемкости, равной $50 \text{ м}^3 \text{ LVL}$, с примерной стоимостью только материала более 1 млн р. Следует отметить, что ряд натуральных испытаний выполнить было бы весьма трудно, а получить достоверные данные почти невозможно. Например, в образцах с волокнами, расположенными вертикально, когда изгибные нормальные напряжения в нижней кромке направлены на растяжение поперек волокон с прочностью, близкой к нулю. После решения задачи для *LVL* толщиной от 21 до 106 мм типов *R* и *X* были получены значения прогибов при различных углах поворота волокон шпона относительно продольной оси балки, а также данные для случая, когда все слои шпона в пакете по аналогии с фанерой имеют взаимно-перпендикулярное направление. Такой тип, условно обозначенный как тип *P*, может быть изготовлен по желанию заказчика.

На основе полученных данных с использованием программного комплекса Mathcad-15 были найдены аппроксимирующие уравнения в виде полиномов третьей степени с коэффициентами, позволяющими корректировать зависимости E для промежуточных углов в диапазоне углов α от 0 до 90° [6] для всех типов *LVL* и вычислять значения E для любых промежуточных α .

Запишем общий вид полинома третьей степени для определения модуля упругости *LVL* под углом к волокнам древесины:

$$E_{\alpha}^{Tb} = K_{Tb} [a_{Tb}(k_{\alpha}\alpha)^3 + b_{Tb}(k_{\alpha}\alpha)^2 + c_{Tb}(k_{\alpha}\alpha) + d_{Tb}], \quad (3)$$

где α – угол наклона волокон древесины пакета (от $0 \dots 90^{\circ}$), \dots° ; T – тип *LVL* марки «Ultralam» (R , X или P); E_{α}^{Tb} – модуль упругости *LVL* типа T толщиной b под углом α , МПа; K_{Tb} , a_{Tb} , b_{Tb} , c_{Tb} , d_{Tb} – коэффициенты для *LVL* типа T толщиной b , табл. 2; $k_{\alpha} = 0,211$.

Подставим значения коэффициентов полинома в формулу (3), тогда модуль упругости при толщине 45 мм под углом 25° для марки X :

$$\begin{aligned} E_{25}^{x45} &= 2,14[-2,7(0,211 \cdot 25)^3 + 109(0,211 \cdot 25)^2 - 1431(0,211 \cdot 25) + 6490] = \\ &= 6210,8 \text{ МПа.} \end{aligned} \quad (4)$$

На основании полученных данных был сделан вывод, что для типов R и P значения модуля упругости не зависят от количества слоев шпона в пакете, поскольку все слои имеют либо параллельное, либо взаимно перпендикулярное расположение волокон соответственно. В табл. 2 для типов R и P значения коэффициентов не зависят от толщины плиты *LVL*.

Таблица 2

Значения коэффициентов полинома для разных типов *LVL* «Ultralam»

Тип <i>LVL</i>	Толщина плиты <i>LVL</i>	K_{Tb}	a_{Tb}	b_{Tb}	c_{Tb}	d_{Tb}
R	Не зависит	2,14	-2,70	109,0	-1431,0	6490,0
X	21	1,99	0,38	-1,23	-179,0	5539,0
	27	1,40	-0,87	53,5	-985,0	7874,0
	39	1,33	-1,59	79,8	-1282,0	8258,0
	45	1,46	-0,49	39,3	-817,0	7542,0
	51	1,45	-0,20	36,2	-916,0	7586,0
	57	1,44	-0,53	43,0	-902,0	7619,0
	63	1,43	-0,56	43,0	-883,0	7689,0
	69	1,41	-0,74	49,6	-959,0	7807,0
	75	1,42	-0,71	49,4	-973,0	7766,0
	90	1,42	-2,15	92,4	-1314,0	7743,0
	100	1,46	-1,28	66,7	-1114,0	7517,0
	106	1,40	-3,43	135,0	-1678,0	7880,0
P	Не зависит	2,24	0,03	10,8	-289,0	5816,0

На рис. 6 представлены графики зависимости модуля упругости E от угла наклона волокон α для *LVL* марки «Ultralam» типов P и R .

Для типа X значение модуля упругости зависит от количества слоев, так как меняется число взаимно перпендикулярных листов шпона (рис. 7).

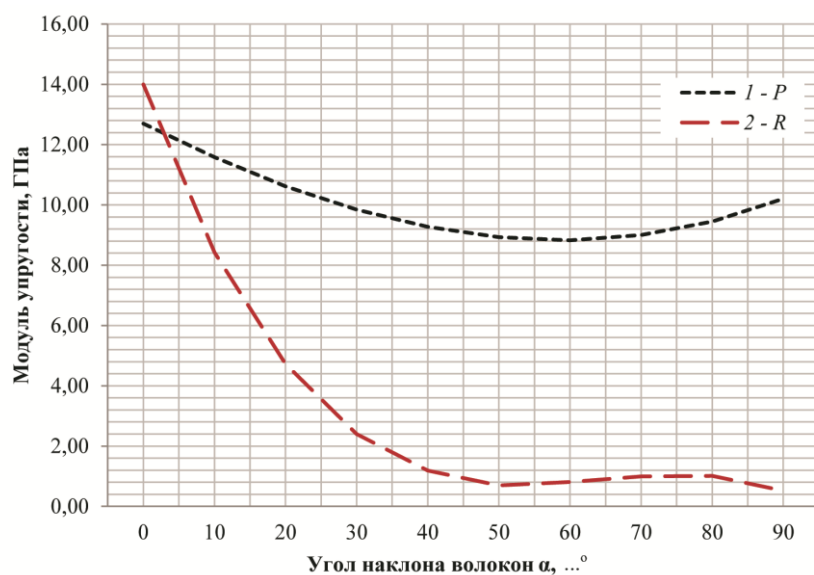


Рис. 6. Зависимость модуля упругости от угла наклона волокон α для LVL типов R (1) и P (2)

Fig. 6. Dependence of elastic modulus on angle of slope of fibers for types R (1) and P (2)

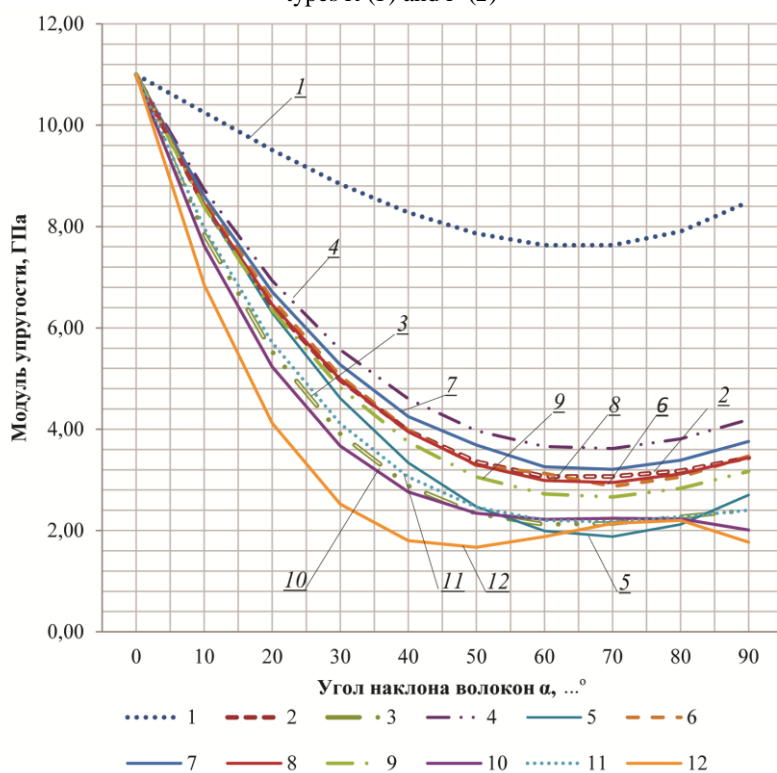


Рис. 7. Зависимость модуля упругости E от угла наклона волокон α для LVL марки «Ultralam» типа X: 1 – толщина 21 мм; 2 – 27; 3 – 39; 4 – 45; 5 – 51; 6 – 57; 7 – 63; 8 – 69; 9 – 75; 10 – 90; 11 – 100; 12 – 106 мм

Fig. 7. Dependence of elastic modulus E on angle of slope of fibers α for Ultralam LVL type X: 1 – 21 mm thickness; 2 – 27; 3 – 39; 4 – 45; 5 – 51; 6 – 57; 7 – 63; 8 – 69; 9 – 75; 10 – 90; 11 – 100; 12 – 106 mm

Заключение

Полученные в результате численного эксперимента зависимости позволяют производить более точный расчет конструкций составных сечений с использованием *LVL* разных типов и под разными углами сопряжения элементов, что снизит их материалоемкость и расширит сферы применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ашкенази Е.К.* Анизотропия древесины и древесных материалов. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 218 с.
2. ГОСТ 33124–2014. Брус многослойный клееный из шпона. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015.
3. Пособие по проектированию деревянных конструкций (к СНиП II–25–80) / ЦНИИСК. М.: Стройиздат, 1986. 216 с.
4. *Серов Е.Н., Санников Ю.Д., Серов А.Е.* Проектирование деревянных конструкций: учеб. пособие / под ред. Е.Н. Серова. М.: АСВ, 2011. 536 с.
5. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуал. версия СНиП II–25–80. М., 2017.
6. СТО 36554501-021–2010. Деревянные конструкции. Многослойный клееный из шпона материал «Ultralam» (Ультралам). М.: НИЦ «Строительство», 2010.
7. *Шмидт А.Б.* Численный анализ работы клефанерных конструкций с дефектами изготовления // Вестн. граждан. инж. 2011. № 4(29). С. 41–46.
8. *Шмидт А.Б., Дмитриев П.А.* Атлас строительных конструкций из клееной древесины и водостойкой фанеры: учеб. пособие. М.: АСВ, 2002. 285 с.
9. DIN EN 14374:2004. Timber Structures – Structural Laminated Veneer Lumber – Requirements. 2005. 22 p.
10. DIN EN 408:2004. Timber Structures – Structural Timber and Glued Laminated Timber – Determination of Some Physical and Mechanical Properties. 2004. 30 p.
11. EN 1995-1-1:2004+A1. Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1–11: General – Common Rules and Rules for Buildings. 2008. 121 p.
12. *Jäger A., Bader T., Hofstetter K., Eberhardsteiner J.* The Relation between Indentation Modulus, Microfibril Angle, and Elastic Properties of Wood Cell Walls // Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2011. Vol. 42, iss. 6. Pp. 677–685. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.02.007
13. *Kamala B.S., Kumar P., Rao R.V., Sharma S.N.* Performance Test of Laminated Veneer Lumber (LVL) from Rubber Wood for Different Physical and Mechanical Properties // Holz als Roh- und Werkstoff. 1999. Vol. 57, iss. 2. Pp. 114–116. DOI: 10.1007/s001070050025
14. *Meder R., Thumm A., Bier H.* Veneer Stiffness Predicted by NIR Spectroscopy Calibrated Using Mini-LVL Test Panels // Holz als Roh- und Werkstoff. 2002. Vol. 60, iss. 3. Pp. 159–164. DOI: 10.1007/s00107-002-0296-y
15. Structural Plywood & LVL Design Manual / ed. by J. MacGregor. Australia: Engineered Wood Product Association of Australia, 2009. 261 p.

Поступила 28.05.18

UDC 691.116

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

Numerical Simulation of LVL Elastic Modulus with Different Combinations of Mutually Perpendicular Veneer Layers*E.Yu. Tsiulin, Postgraduate Student**A.B. Shmidt, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 2-ya Krasnoarmeyskaya ul., 4, Saint Petersburg, 190005, Russian Federation;

e-mail: eciulin@edu.spbgasu.ru, shmidt.a.b@lan.spbgasu.ru

Integrated composed supporting structures such as laminated plywood are the most sustainable in terms of material consumption in comparison with ordinary glulam structures of the same supporting capacity. However, design features and some manufacturing difficulties reduce the economic efficiency of laminated plywood structures. Appearance of Laminated Veneer Lumber (LVL) and possibility of using its various types instead of plywood walls and board belts can significantly increase the efficiency and expand the application area of composite structures of composed I-beam or box section. An important problem that limits development and common use of composed structures with LVL is the lack of information on value of the elastic modulus under different angles to wood fibers in LVL in current Russian design standards. This information is necessary for structure designing, for example, according to the method of transformed section. The article describes the creation of finite element models as well as the results of a finite element analysis of anisotropy of Ultralam LVL elastic modulus with different amount and combination of layers and mutually perpendicular and parallel arrangement of wood fibers. In the research, we have used numerical simulation of LVL bending tests using the FEM method according to GOST 33124–2014 in the SCAD program. The obtained data was processed in Mathcad and Excel software packages. Simple analytical dependences were obtained. They allow to calculate the elastic modulus of all types and thicknesses of Ultralam LVL at any given angle to wood fibers.

Keywords: Ultralam LVL, elastic modulus, finite element method, numerical experiment, wood structures, laminated veneer lumber, laminated wood structures.

REFERENCES

1. Ashkenazi E.K. *Anizotropiya drevesiny i drevesnykh materialov* [Anisotropy of Wood and Wood Materials]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 218 p. (In Russ.)
2. *GOST 33124–2014. Brus mnogosloynny kleyenny iz shpona. Tekhnicheskiye usloviya* [Laminated Veneer Lumber. Technic Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2015.
3. *Posobiye po proyektirovaniyu derevyannykh konstruksiy (k SNiP II-25–80)* [Manual on Wooden Structures Design (for SNiP II-25-80)]. TSNIISK. Moscow, Stroyizdat Publ., 1986. 216 p.
4. Serov E.N., Sannikov Yu.D., Serov A.E. *Proyektirovaniye derevyannykh konstruksiy: ucheb. posobiye* [Design of Wooden Structures: Educational Textbook]. Ed. by E.N. Serov. Moscow, ASV Publ., 2011. 536 p. (In Russ.)

For citation: Tsiulin E.Yu., Shmidt A.B. Numerical Simulation of LVL Elastic Modulus with Different Combinations of Mutually Perpendicular Veneer Layers. *Lesnoy Zhurnal* [Forestry Journal], 2018, no. 6, pp. 138–148. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.6.138

5. SP 64.13330.2017. *Derevyannyye konstruksii. Akt. versiya SNiP II-25–80* [SP 64.13330.2017. Wooden Structures. Valid Version of SNiP II-25–80]. Moscow, 2017.
6. STO 36554501-021–2010. *Derevyannyye konstruksii. Mnogosloynny kleynyy iz shpona material «Ultralam» (Ul'tralam)* [STO 36554501-021-2010. Wooden Structures. Multilayer Glued Veneer Material Ultralam]. Moscow, NITS Stroitel'stvo Publ., 2010.
7. Shmidt A.B. *Chislennyy analiz raboty kleyefanernykh konstruksiy s defektami izgotovleniya* [Numerical Analysis of Glulam Plywood Structures Behavior Containing Manufacture Defects]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov* [Bulletin of Civil Engineers], 2011, no. 4(29), pp. 41–46.
8. Shmidt A.B., Dmitriyev P.A. *Atlas stroitel'nykh konstruksiy iz kleynoy drevesiny i vodostoykoy fanery: ucheb. posobiye* [Atlas of Building Structures from Laminated Wood and Water Resistant Plywood: Educational Textbook]. Moscow, ASV Publ., 2002. 285 p. (In Russ.)
9. DIN EN 14374:2004. *Timber Structures – Structural Laminated Veneer Lumber – Requirements*. 2005. 22 p.
10. DIN EN 408:2004. *Timber Structures – Structural Timber and Glued Laminated Timber – Determination of Some Physical and Mechanical Properties*. 2004. 30 p.
11. EN 1995-1-1:2004+A1. *Eurocode 5: Design of Timber Structures – Part 1–11: General – Common Rules and Rules for Buildings*. 2008. 121 p.
12. Jäger A., Bader T., Hofstetter K., Eberhardsteiner J. The Relation between Indentation Modulus, Microfibril Angle, and Elastic Properties of Wood Cell Walls. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2011, vol. 42, iss. 6, pp. 677–685. DOI: 10.1016/j.compositesa.2011.02.007
13. Kamala B.S., Kumar P., Rao R.V., Sharma S.N. Performance Test of Laminated Veneer Lumber (LVL) from Rubber Wood for Different Physical and Mechanical Properties. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1999, vol. 57, iss. 2, pp. 114–116. DOI: 10.1007/s001070050025
14. Meder R., Thumm A., Bier H. Veneer Stiffness Predicted by NIR Spectroscopy Calibrated Using Mini-LVL Test Panels. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 2002, vol. 60, iss. 3, pp. 159–164. DOI: 10.1007/s00107-002-0296-y
15. *Structural Plywood & LVL Design Manual*. Ed. by J. MacGregor, Australia, Engineered Wood Product Association of Australia, 2009. 261 p.

Received on May 28, 2018
