

УДК 694.141.4:694.146

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА ДЛЯ РАСЧЁТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ SHERPA ПРИ ИЗГИБЕ В БОЛЬШЕПРОЛЁТНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Сюй Юнь

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: xyqh111@hotmail.com

Рассматривается проблема расчёта несущей способности соединения SHERPA при изгибе в большепролетных деревянных конструкциях. Дано описание расчётной схемы по определению коэффициента эксцентриситета, зависящего от толщины стеновой панели, жесткости металлических накладок, несущей способности шурупов на выдергивание и прогиба балки. Описано влияние эксцентриситета на несущую способность соединения SHERPA при изгибе. На основе данных численных и экспериментальных исследований автором предложен математический алгоритм для определения коэффициента эксцентриситета. Проведен сравнительный анализ расчётных и экспериментальных результатов с учётом коэффициента эксцентриситета и показана удовлетворительная сходимость. По сравнению с традиционным алгоритмом выполнена корректировка неопределённых понятий и повышение точности расчёта. Подтверждена эффективность использования коэффициента эксцентриситета для повышения надёжности и безопасности при конструировании.

Ключевые слова: большепролетная деревянная конструкция, коэффициент эксцентриситета

RESEARCH OF THE COEFFICIENT OF ECCENTRICITY FOR CALCULATING THE SHEAR STRENGTH OF CONNECTION SHERPA IN THE LARGE SPAN WOODEN STRUCTURES

Xu Yun

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE),
St. Petersburg, e-mail: xyqh111@hotmail.com

This paper considered the problem for calculating the bending strength of connection SHERPA in the large span wooden structures. The analytical model for calculating the eccentric coefficient is described, which is depending on the thickness of the wall panel, rigidity of the metal plates, the withdrawal strength of the screws and the deflection of beams. Effect of the eccentric action on the bearing capacity of the connection SHERPA is described, which is taken by the bending moment on the beam. Based on these researches a new numerical algorithm for calculating the eccentric coefficient is proposed. A comparative analysis of the calculated and experimental results in view of the eccentric coefficient is carried out and this paper showed satisfactory convergence. Compared with the traditional algorithm correction of the undefined concepts and improving the accuracy of calculation are performed. The effectiveness of using the eccentric coefficient for increasing the reliability and safety in design is confirmed.

Keywords: large span wooden structure, eccentric coefficient

В диссертационной работе автора было проведено численное и экспериментальное исследование несущей способности соединения SHERPA при изгибе в деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели CLT с балкой из CLT и LVL. Автором был предложен численный алгоритм для определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без учёта воздействия эксцентриситета, но при конструировании соединения в большепролетных конструкциях эксцентриситет значительно влияет на несущую способность соединения при изгибе. В соответствии с требованием более просторного внутреннего пространства, например, в торговом центре, на спортивном стадионе, в промышленном здании и т.д., большепролетная деревянная конструкция используется в виде дощатоклееных балок пролётом 6–24 м, дощатоклееных арок с пролётом более 100 м и деревянных рам с пролётом до 18–30 м [1]. В большепролетной

конструкции крепеж SHERPA находится не только под действием нагрузки вдоль направления вставки, но и изгиба. Таким образом, при конструировании несущей способности соединения SHERPA при изгибе должен рассматриваться коэффициент эксцентриситета. Сегодня в научном исследовании компании SHERPA с Timberland (лаборатория по испытанию деревянных конструкций Технического университета г. Грац в Австрии) осуществляется несущая способность крепежа SHERPA при изгибе для достижения 280 кН [2]. При этом крепеж SHERPA может применяться в более широкой области и обеспечивать более устойчивость и безопасность.

Целью настоящей работы является формирование численного алгоритма для определения коэффициента эксцентриситета соединения SHERPA при изгибе.

Расчётная схема по определению коэффициента эксцентриситета представлена на рис. 1.

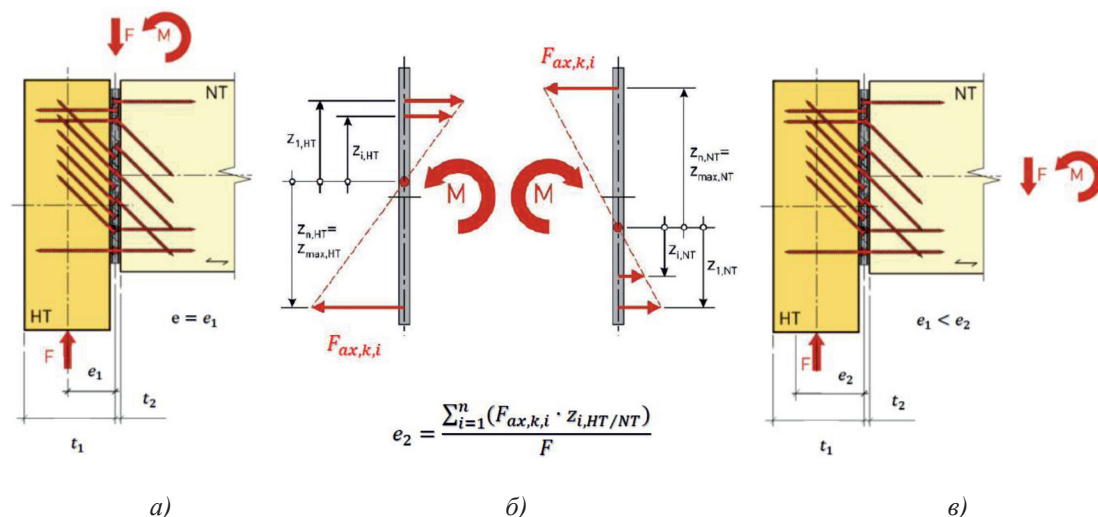


Рис. 1. Расчётная схема по определению коэффициента эксцентриситета [4]: а – предельный эксцентриситет; б – эксцентриситет металлических накладок; в – эксцентриситет изгиба

Из рис. 1 видно, что коэффициент эксцентриситета зависит от следующих факторов:

- предельного эксцентриситета в зависимости от толщины стеновой панели CLT и металлических накладок SHERPA (рис. 1, а);

- эксцентриситета соединения SHERPA в зависимости от расположения шурупов, центра тяжести алюминиевой детали и несущей способности шурупа на выдёргивание (рис. 1, б);

- эксцентриситета изгиба в зависимости от жёсткости соединения SHERPA и прогиба балки (рис. 1, в);

Автором предложен численный алгоритм для определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе с учётом коэффициента эксцентриситета, показанный в следующих уравнениях:

- несущая способность соединения SHERPA при изгибе F' с учётом коэффициента эксцентриситета в соответствии с рекомендацией [4], Н:

$$F' = \omega \cdot F; \quad (1)$$

$$\omega = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{e_3 - e_1}{e_2}\right)^3\right)^{\frac{1}{3}}}; \quad (2)$$

$$e_1 = 0,5(t_1 + t_2); \quad (3)$$

$$e_2 = \frac{\min(M_1, M_2)}{F}; \quad (4)$$

$$e_3 = \frac{M}{F}; \quad (5)$$

$$M_{1/2} = \sum_{i=1}^n (F_{ax,k,i} \cdot z_{i,П/Б}), \quad (6)$$

где ω – коэффициент эксцентриситета;

e_1 – предельный эксцентриситет, мм;

e_2 – эксцентриситет металлических накладок, мм;

e_3 – эксцентриситет изгиба, мм;

F – несущая способность соединения SHERPA при изгибе, Н;

M – изгибающий момент, Н·мм;

$M_{1/2}$ – изгибающий момент, действующий на алюминиевые накладки, Н·мм;

$F_{ax,k,i}$ – несущая способность шурупа на выдёргивание, Н.

Для получения экспериментальных значений нормативной прочности в механической лаборатории СПбГАСУ проведены испытания на изгиб с использованием универсальной испытательной машины INSTRON 5969 (максимальный режим работы до 50 кН) и INSTRON 5989 (максимальный режим работы до 600, кН). Режим нагружения при непрерывном увеличении нагрузки 2 мм/мин.

Поскольку в работах автора использована конструкция «балка из LVL (брус из клееного шпона) и стеновая панель из CLT (панель из поперечно-клееной древесины)», нужно определить плотности материалов из CLT и LVL. Температура в лаборатории $20 \pm 1^\circ\text{C}$ и влажность материалов 13%. На основе полученных из испытания результатов плотность определяется равной 495 кг/м^3 для CLT и 560 кг/м^3 для LVL.

Расположение металлических накладок в деревянных конструкциях и установка опытных деревянных образцов на экспериментальном стенде представлены на рис. 2.

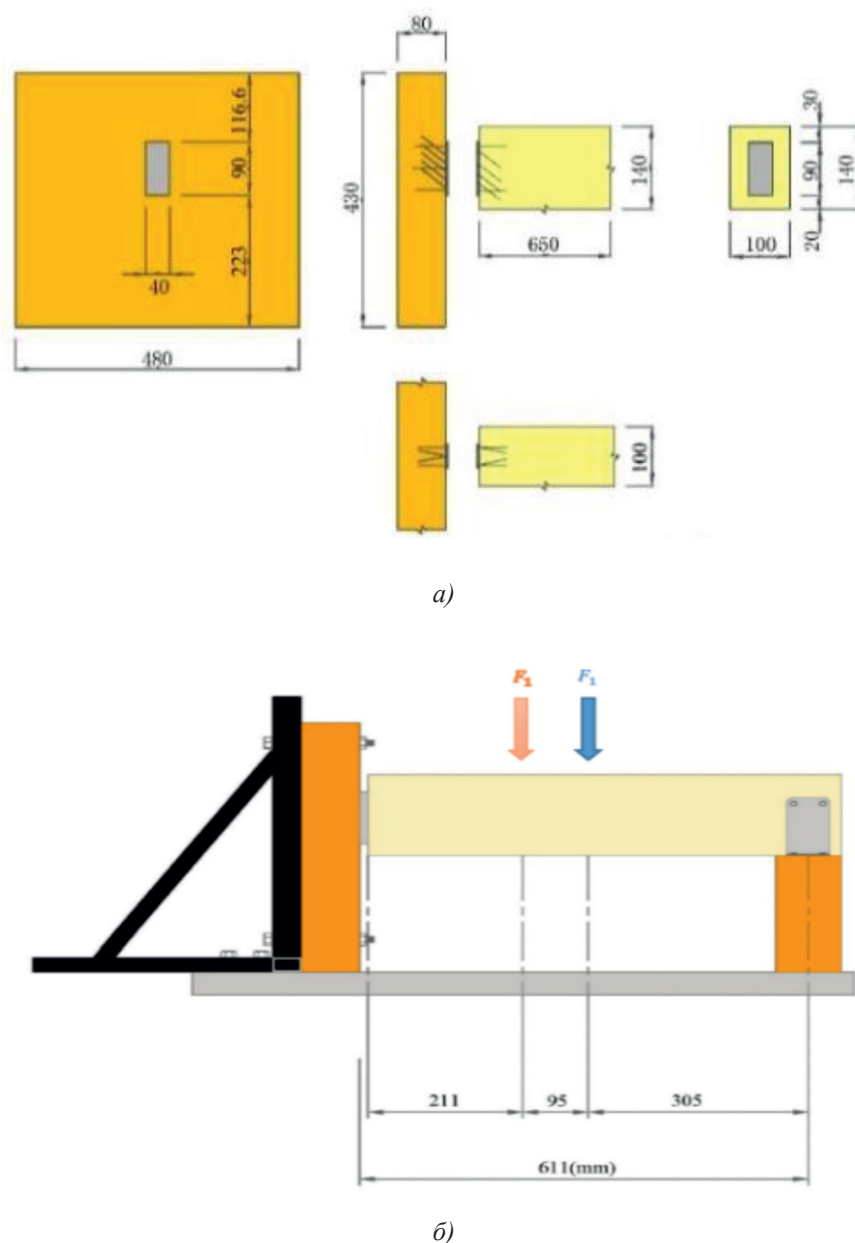


Рис. 2. Испытание соединения SHERPA на изгиб: а – расположение соединения SHERPA; б – установка деревянных опытных образцов на экспериментальном стенде

Из рис. 2 видно, что деревянная опытная балка крепится двумя заделанными концами. С учетом использования литературы [5] и диссертационной работы автора, сравнения экспериментальных и расчётных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без укрепления и с МЗП (металлические зубчатые пластины) с учётом коэффициента эксцентриситета представлены в табл. 1 и 2.

Из [4] несущая способность соединения SHERPA при изгибе без учёта коэф-

фициента эксцентриситета равна 15000 Н, коэффициент эксцентриситета с учётом физико-механических и геометрических характеристик деревянных опытных материалов составляет 0,5. Сравнения расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA без укрепления и с МЗП с учётом коэффициентов эксцентриситета при изгибе в деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели-CLT с балкой из CLT и LVL представлены в табл. 3 и 4 в соответствии с графиками (рис. 3 и 4).

Таблица 1

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без учёта коэффициента эксцентриситета с укреплением МЗП

На широкой стороне панели-CLT			На узкой стороне панели из CLT			Вдоль волокон балки из LVL		
$F_{v,ф,CLT,МЗП}$	$F_{v,p,CLT,МЗП}$	μ	$F_{v,ф,CLT,МЗП}$	$F_{v,p,CLT,МЗП}$	μ	$F_{v,ф,CLT,МЗП}$	$F_{v,p,CLT,МЗП}$	μ
33520	29234	14,66 %	33520	31556	6,22 %	29640	36764	- 19,38 %

Примечания. $F_{v,ф,CLT,МЗП}$ – фактическая несущая способность с укреплением МЗП, Н; $F_{v,p,CLT,МЗП}$ – расчётная несущая способность с укреплением МЗП, Н; μ – приращение $F_{v,ф,CLT,МЗП}$ и $F_{v,p,CLT,МЗП}$; $\mu = \frac{F_{v,ф,CLT,МЗП} - F_{v,p,CLT,МЗП}}{F_{v,p,CLT,МЗП}} \cdot 100\%$.

Таблица 2

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без учёта коэффициента эксцентриситета без укрепления МЗП

На широкой стороне панели-CLT			На узкой стороне панели-CLT			Вдоль волокон балки из LVL		
$F_{v,ф,CLT}$	$F_{v,p,CLT}$	μ	$F_{v,ф,CLT}$	$F_{v,p,CLT}$	μ	$F_{v,ф,CLT}$	$F_{v,p,CLT}$	μ
27830	26331	5,69 %	26910	27684	- 2,80 %	22600	32036	- 29,45 %

Примечания. $F_{v,ф,CLT}$ – фактическая несущая способность без укрепления МЗП, Н; $F_{v,p,CLT}$ – расчётная несущая способность без укрепления МЗП, Н; μ – приращение $F_{v,ф,CLT}$ и $F_{v,p,CLT}$; $\mu = \frac{F_{v,ф,CLT} - F_{v,p,CLT}}{F_{v,p,CLT}} \cdot 100\%$.

Таблица 3

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без и с учётом коэффициента эксцентриситета без укрепления МЗП

Параметр	$F_{v,k,оф}$	$F_{v,k,90,p,CLT}$	$F_{v,k,0,p,CLT}$	$F_{v,k,ф,CLT,1}$	$F_{v,k,ф,CLT,3}$	$F_{v,k,p,LVL}$	$F_{v,k,ф,LVL}$
$F_{v,k}$	15000	26331	27684	27830	26910	32036	22600
μ	—	75,54 %	84,56 %	85,53 %	79,40 %	113,57 %	50,67 %
ω	0,50	0,41	0,40	0,41	0,36	0,42	0,41
$F_{v,k}'$	7518,00	10795	11073	11322	9753	13455	9303
μ'	—	43,94 %	47,65 %	50,97 %	30,05 %	79,40 %	24,05 %

Примечания. $F_{v,k}$ – несущая способность на срез без учёта коэффициента эксцентриситета, Н; $F_{v,k}'$ – несущая способность на срез с учётом коэффициента эксцентриситета, Н; μ – приращение $F_{v,k,ф}$ и $F_{v,k,оф}$; $\mu = \frac{F_{v,k,ф} - F_{v,k,оф}}{F_{v,k,оф}} \cdot 100\%$; μ' – приращение $F_{v,k,ф}'$ и $F_{v,k,оф}'$; $\mu' = \frac{F_{v,k,ф}' - F_{v,k,оф}'}{F_{v,k,оф}'} \cdot 100\%$.

Таблица 4

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без и с учётом коэффициента эксцентриситета с с укреплением МЗП

Параметр	$F_{v,k,оф,МЗП}$	$F_{v,k,90,p,CLT,МЗП}$	$F_{v,k,0,p,CLT,МЗП}$	$F_{v,k,ф,CLT,7,МЗП}$	$F_{v,k,p,LVL,МЗП}$	$F_{v,k,ф,LVL,6,МЗП}$
$F_{v,k}$	15000	29234	31556	33520	36764	29640
μ	—	94,89 %	110,37 %	123,47 %	145,09 %	97,60 %
ω	0,50	0,39	0,38	0,40	0,40	0,36
$F_{v,k}'$	7518,00	11401	11991	13408	14705	10670
μ'	—	52,02 %	59,88 %	78,77 %	96,07 %	42,27 %

Примечания. $F_{v,k}$ – несущая способность на срез без учёта коэффициента эксцентриситета, Н; $F_{v,k}'$ – несущая способность на срез с учётом коэффициента эксцентриситета, Н; μ – приращение $F_{v,k,ф}$ и $F_{v,k,оф}$; $\mu = \frac{F_{v,k,ф} - F_{v,k,оф}}{F_{v,k,оф}} \cdot 100\%$; μ' – приращение $F_{v,k,ф}'$ и $F_{v,k,оф}'$; $\mu' = \frac{F_{v,k,ф}' - F_{v,k,оф}'}{F_{v,k,оф}'} \cdot 100\%$.

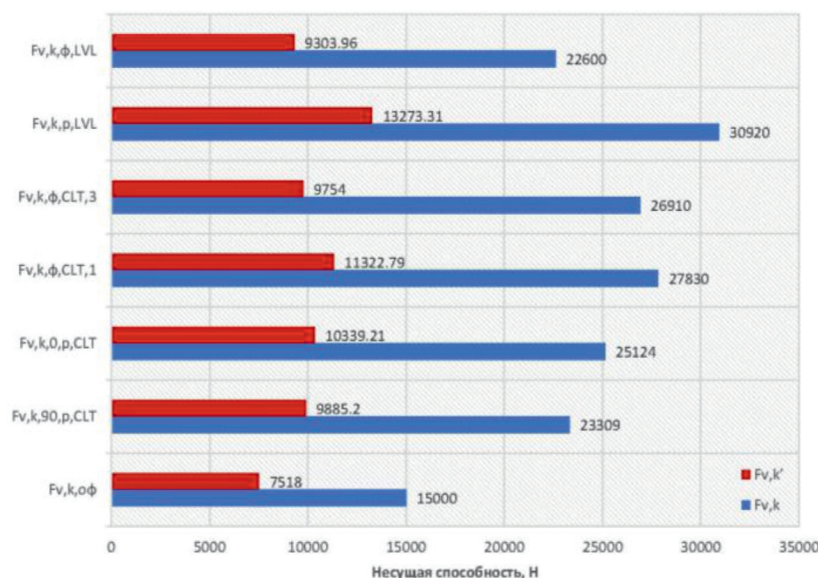


Рис. 3. Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без учёта коэффициента эксцентриситета без укрепления МЗП

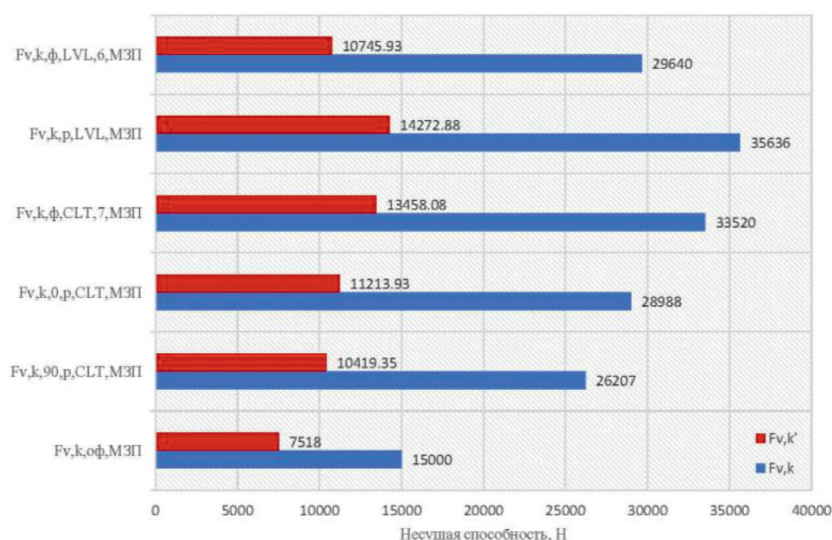


Рис. 4. Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA при изгибе без учёта коэффициента эксцентриситета с укреплением МЗП

Из табл. 3 видно, что коэффициент эксцентриситета, определяемый по предложенным уравнениям, достаточно близок к данному коэффициенту 0,5 [4]. Полученные расчётные и экспериментальные результаты, умножаемые на коэффициент ω , не только соответствуют нормативной несущей способности 7518 Н, но и незначительно превышают её, потому что нормативная несущая способность для соединения SHERPA S15 при изгибе должна удовлет-

ворять условию консервативности для различных типов деревянных материалов при конструировании. Методика для расчёта коэффициента эксцентриситета [4], разработанная руководством компании SHERPA, в соответствии с исследованием автора может быть усовершенствована. При этом должна быть выполнена:

- корректировка неопределённых понятий для коэффициента эксцентриситета на основе данной методики;

- предложен новый численный алгоритм;

Из табл. 4 видно, что расчётные и экспериментальные результаты для соединения SHERPA выше максимально на 113,57% и минимально на 50,67%, чем нормативное значение 15000 Н, а после умножения на коэффициент эксцентриситета выше максимально на 79,40% и минимально на 24,05%, чем 7518 Н. Сравнительный анализ показывает, что предложенный численный алгоритм для расчёта коэффициента эксцентриситета может обеспечить и повысить достоверность и надёжность конструирования.

Выводы

1. Рассматривается возможность применения соединения SHERPA в большепролетных деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели-CLT с балкой из CLT и CLT.

2. Предложен численный алгоритм для определения коэффициента эксцентриситета на основе [4].

3. Теоретически модели проверены и экспериментально показано влияние эксцентриситета на несущую способность соединения SHERPA при изгибе на основе сравнительного анализа, подтверждена эффективность использования коэффициента эксцентриситета для повышения надёжности и безопасности конструирования.

4. По сравнению с традиционным алгоритмом выполнена корректировка неопределённых понятий и повышение точности расчёта.

Список литературы

1. Карлсен Г.Г., Слишкоухов Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс. Стройиздат. – М., 1986. – 215 с.
2. Официальный сайт для Ассоциации деревянного домостроения: Общие сведения о истории развития соединения SHERPA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.npadd.ru/reestr/2200>.
3. Официальный сайт для компании SHERPA: Список серий продукции типа SHERPA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.sherpa-connector.com/>.
4. Руководство-SHERPA / Fa. Harrer GmbH / Frohnleiten, AT / 2010.
5. Тимошенко С.П. Курс сопротивления материалов. – Киев: Изд-во кн. маг. Л. Издиковского, 1911. – 163 с.

References

1. Karlsen G.G., Slickouhov Ju.V. Konstrukcii iz dereva i plastmass. Strojizdat. M., 1986. 215 p.
2. Oficial'nyj sajt dlja Asociacii derevjannogo domostroenija: Obshhie svedenija o istorii razvitiya soedinenija SHERPA [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.npadd.ru/reestr/2200>.
3. Oficial'nyj sajt dlja kompanii SHERPA: Spisok serij produkci tipa SHERPA [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://en.sherpa-connector.com/>.
4. Rukovodstvo-SHERPA / Fa. Harrer GmbH / Frohnleiten, AT / 2010.
5. Timoshenko S.P. Kurs soprotivlenija materialov. Kiev: Izd-vo kn. mag. L. Idzikovskogo, 1911. 163 p.

Рецензенты:

Глухих В.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технической механики, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург;

Черных А.Г., д.т.н., профессор, академик Российской академии естественных наук (РАЕН), проректор СПГХПА, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 02.02.2015.