

## РАСЧЁТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ SHERPA ПРИ ИЗГИБЕ В ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАНЕЛИ - CLT И БАЛКИ ИЗ CLT И LVL

Сюй Юнь<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 4, e-mail: [xyqh111@hotmail.com](mailto:xyqh111@hotmail.com)

Рассматриваются современные способы численного моделирования элемента соединений деревянных конструкций в составе стеновой панели-CLT и балки из CLT и LVL с металлическими накладками SHERPA при изгибе. Показаны известные научные исследования отечественных проектировщиков и зарубежных нормативных документов. В статье предлагается новая численная модель в зависимости от сопротивления шурупа на выдергивание, сопротивления древесины и металлических накладок смятию в гнездах и прочности элементов соединений деревянных конструкций на металлических накладках и шурупов на сдвиг. Приводятся результаты экспериментов для проверки достоверности численного исследования. После сравнительного анализа расчётных и фактических результатов показаны достоверность и возможность применения предлагаемой численной модели для расчёта прочности соединения SHERPA в деревянных конструкциях на изгиб.

Ключные слова: SHERPA, прочность на изгиб, соединение, сравнительный анализ

## THE CALCULATION OF THE BENDING STRENGTH OF THE CONNECTION SHERPA IN THE WOODEN STRUCTURES BY CONSISTING OF THE PANEL- CLT AND BEAM FROM CLT OR LVL

Xu Yun<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPSUACE), St. Petersburg, Russia (190005, St. Petersburg, 2-nd Krasnoarmeiskaya St. 4). e-mail: [xyqh111@hotmail.com](mailto:xyqh111@hotmail.com)

The modern methods of numerical simulation of the bending strength of connection SHERPA in the wooden structures in the composition of the wall panel-CLT and beam from CLT and LVL are considered. The well-known scientific researches of native projections and foreign regulations are shown. The paper proposed a new numerical model depending on the withdrawal strength of screw, the shear strength of screw and the embedment strength of the wooden and metal holes. The experiments are carried out to validate the numerical study. After a comparative analysis of the calculated and actual results the validity and the possibility of the applied numerical model to calculate the bending strength of connection SHERPA in the wooden structures are shown.

Keywords: SHERPA, the bending strength, connection, comparative analysis

С тех пор, как основатель компании Vinzenz Harrer GmbH — Винценц Харрер [3] провел необходимость разработки нормативной системы соединений и крепежа деревянных конструкций с использованием современной системной технологии, в 2004 г родилась идея самого первого крепежа SHERPA, основанного по принципу: два алюминиевых элемента объединились, создавая (перевернутую) форму давно используемого традиционного соединения типа «ласточкин хвост». С использованием вертикальных и наклонных шурупов металлические накладки могут крепиться к торцевой поверхности деревянных элементов. Поэтому несущая способность соединения SHERPA зависит от характеристики материалов, расположения и прочности шурупа при выдергивании и сдвиге в деревянных элементах, предела текучести материала металлической накладки и т. д. В научных работах автора

проведены испытания несущей способности шурупа на выдергивание и сдвиг. После обработки данных экспериментальных результатов и выполнения сравнительного анализа, базирующихся на данных нормах и теории *Johansen* [1], автором предложен новый алгоритм для расчёта несущей способности шурупа без и с креплением МЗП (металлические зубчатые пластины) на деревянных элементах при сдвиге.

**Целью настоящей работы** является проведение численный расчёт и экспериментально подтверждены расчётные результаты прочности соединения SHERPA на изгиб, установленного на торцевой поверхности панели - CLT и балке из CLT и LVL.

Соединение SHERPA может воспринимать вертикальные и горизонтальные усилия и воспринимать усилия на растяжение и сжатие, изгибающие моменты по трем взаимно перпендикулярным осям, но вертикальная нагрузка вдоль направления вставки алюминиевых деталей и изгибающий момент от прогиба балки наиболее влияют на несущую способность соединения SHERPA на изгиб. На рис. 1 приведена расчётная схема для несущей способности соединения SHERPA [2] и [5], из которого видно, что несущая способность соединения зависит от следующих факторов:

- прочность односрезного шурупа на металлической накладке в деревянных элементах
- вертикальный компонент от прочности шурупа на выдергивание под углом к волокнам древесины
- сила трения между себе алюминиевыми накладками и деревянными элементами в зависимости от горизонтального компонента из-за прочности шурупа на выдергивание под углом к волокнам

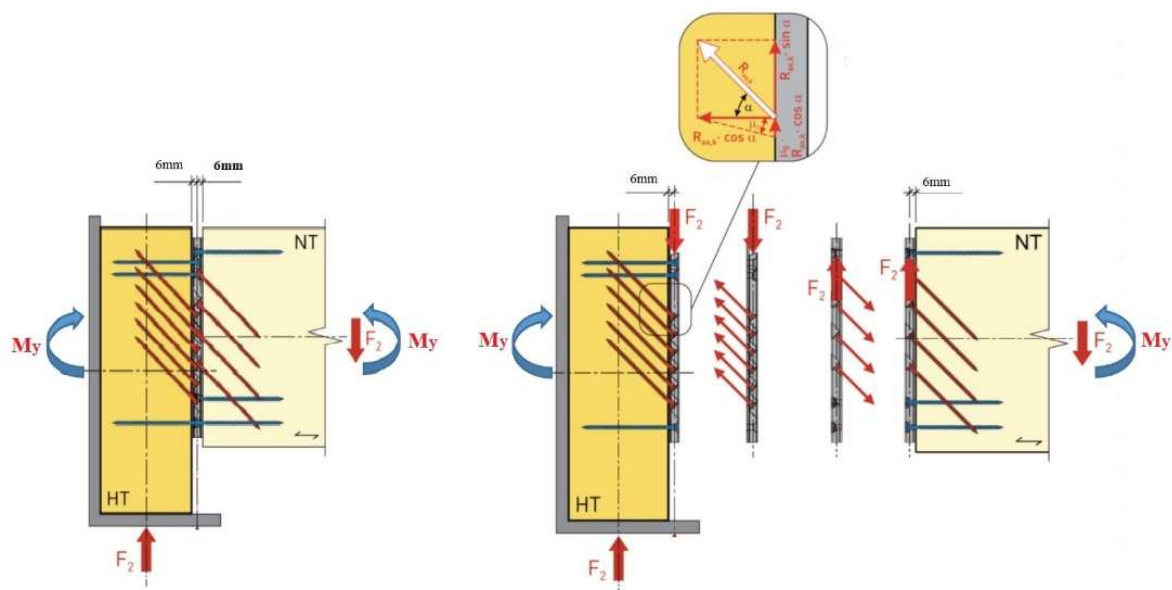


Рис. 1. Расчётная схема для несущей способности соединения SHERPA на изгиб[2].

Шурупы для соединения SHERPA разделяются на горизонтальный и наклонный шуруп под углом  $\alpha=37,5^\circ$  к волокнам для серий продукции XS - L. Поскольку количество и прочность шурупа под углом к волокнам, конструктивные и геометрические характеристики деревянных элементов имеют отчетливую разницу, считав расчёт несущей способности соединения, минимальное значение должно быть выбрано по сравнению с прочностью алюминиевых деталей из соединения SHERPA, установленного на различных частях деревянных элементах. Численный алгоритм для расчёта несущей способности соединения SHERPA на изгиб приведен по следующим формулам.

1. Несущая способность односрезного шурупа на металлической накладке в деревянном элементе при сдвиге, Н;

$$F_{v,\alpha,k,1} = \min \left\{ \begin{array}{l} b_1^{M1} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} \\ b_1^{C1} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} \\ b_1^{M2} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} + 2f_{y,k} \cdot b_2 \cdot d \\ b_1^{M3} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} + 2f_{y,k} \cdot b_2 \cdot d \\ b_1^{C3} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} + 2f_{y,k} \cdot b_2 \cdot d \\ b_1^4 \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d + \frac{V_{ax,\alpha,k}}{4} + 2f_{y,k} \cdot b_2 \cdot d \end{array} \right. \quad (1)$$

$$b_1^{M2} = \frac{-(t_1 + \beta \cdot t_2) + \sqrt{(t_1 + \beta \cdot t_2)^2 + (\beta \cdot t_2^2 + t_1^2) \cdot (1 + \beta)}}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$b_1^{M3} = \frac{-t_1 + \sqrt{t_1^2 + \left(\frac{4M_y}{f_1 \cdot d} + t_1^2\right) \cdot (1 + 2\beta)}}{1 + 2\beta} \quad (3)$$

$$b_1^{C3} = \frac{-\beta \cdot t_2 + \sqrt{(\beta \cdot t_2)^2 + \left(\frac{4M_y}{f_1 \cdot d} + \beta \cdot t_2^2\right) \cdot (2 + \beta)}}{2 + \beta} \quad (4)$$

$$b_1^4 = \sqrt{\frac{4M_y}{f_1 \cdot d}} \cdot \frac{1}{1 + \beta} \quad (5)$$

2. Вертикальный компонент от несущей способности шурупа на выдергивание под углом к волокнам, Н;

$$F_{2,K,1} = R_{ax,k} \cdot \sin \alpha \quad (6)$$

3. Сила трения между алюминиевыми накладками и деревянными элементами, Н;

$$F_{2,k,2} = \mu \cdot R_{ax,k} \cdot \cos \alpha$$

(7)

4. Несущая способность соединения SHERPA при изгибе на панели - CLT и балке из CLT и LVL определена по уравнениям, Н;

$$F_{v,k,панель,sherpa} = n \cdot (F_{v,\alpha,k,1} + F_{2,k,1} + F_{2,k,2}) \quad (8)$$

$$F_{v,k,балка,sherpa} = n \cdot (F_{v,\alpha,k,1} + F_{2,k,1} + F_{2,k,2})$$

$$(9) \quad F_{v,k,sherpa} = \min(F_{v,k,панель,sherpa}, F_{v,k,балка,sherpa})$$

(10)

Где:

$F_{v,k,sherpa}$  - несущая способность соединения SHERPA при изгибе, Н;

$F_{v,k,панель,sherpa}$  - несущая способность соединения SHERPA при изгибе на панели - CLT, Н;

$F_{v,k,балка,sherpa}$  - несущая способность соединения SHERPA при изгибе на балке, Н;

$R_{ax,k}$  - несущая способность шурупа на выдергивание под углом к волокнам, Н;

$\mu$  - коэффициент силы трения;  $\mu = 0,25$  [2];

$n$  - количество шурупов;

$m_{1/2}$  – виды разрушения в соответствии с теорией *Johansen* [1].

С целью получения экспериментальной нормативной прочности испытания проводились в механической лаборатории СПбГАСУ, где можно проводить испытание при изгибе с использованием универсальной испытательной машины INSTRON 5969, имеющей максимальный режим работы до 50 кН. Поскольку в работах автора использованы конструкции «балка из LVL (брус из клееного шпона) и стеновая панель из CLT (панели из поперечно-клееной древесины)», нужно определить плотности материалов из CLT и LVL (температура в лаборатории -  $20 \pm 1$  °С и влажность материалов - 13%). На основе полученных результатов испытаний плотности составляют  $495 \text{ кг/м}^3$  для CLT и  $560 \text{ кг/м}^3$  для LVL. Режим загрузки при непрерывном увеличении нагрузки составлял 2 мм/мин. Расположение соединения SHERPA и экспериментальный стенд показаны на рис. 2. Виды разрушения деревянных элементов приведены на рис. 3.

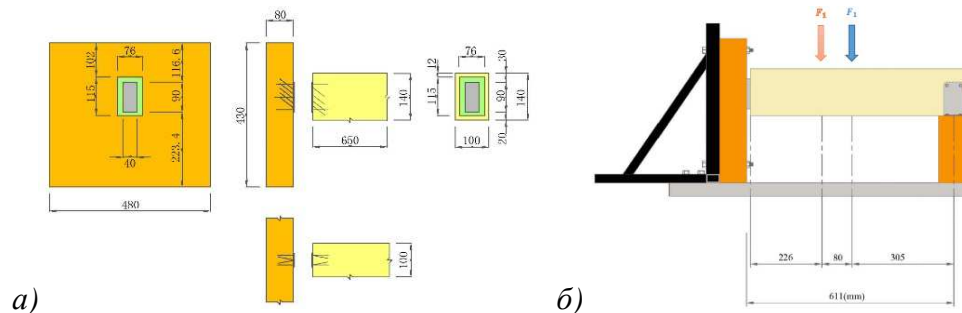


Рис. 2. Установка испытания опытного соединения SHERPA: *а* — расположение соединения SHERPA; *б* — экспериментальный стенд

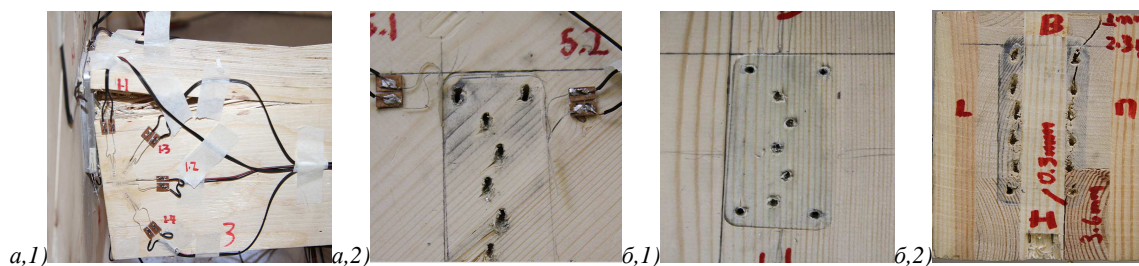


Рис. 3. Виды разрушения деревянных элементов на изгиб: *а, 1* — *а, 2* для балки из LVL; *б, 1* — *б, 3* для балки из CLT.

Для выполнения расчёта и обработки данных использовались программы: Microsoft Excel, Origin pro, IBM SPASS Statistics, Mathcad. Экспериментальные результаты несущей способности соединения SHERPA на изгиб приведены в табл. 1 и зависимость «нагрузка-перемещение» для изгиба соединения SHERPA приведена на рис. 4.

Таблица 1

### Экспериментальные результаты

На широкой стороне панели - CLT для эксперимента №.1			На узкой стороне панели - CLT для эксперимента №.3			Вдоль волокон балки из LVL для эксперимента №.2		
$F_{ax, test}^1$	$F_{ax, тек}^2$	$F_{ax, max}^3$	$F_{ax, test}$	$F_{ax, тек}$	$F_{ax, max}$	$F_{ax, test}$	$F_{ax, тек}$	$F_{ax, max}$
38377,45	5201,18	5220,61	37112,56	42084,32	46401,48	31164,43	36200,52	44076,96

Примечания:  $F_{ax, test}$  — фактическая несущая способность, Н;  $F_{ax, max}$  — максимальная нагрузка, Н;  $F_{ax, тек}$  — предел текучести, Н

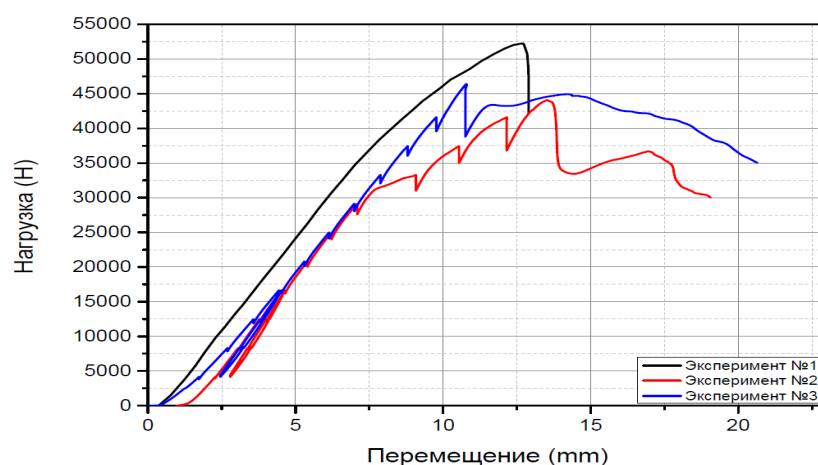


Рис. 4. Зависимость «нагрузка-перемещение» для изгиба соединения SHERPA: красная кривая — для балки - LVL; чёрная кривая — для балки - CLT; синяя кривая — для балки - CLT

Из рис. 4 видно, что несущая способность соединения SHERPA в деревянной конструкции в составе стеновой панели-CLT и балки из CLT выше, чем балки из LVL. Это зависит от расположения, количества и прочности шурупа на выдергивание и сдвиг. Для расчёта фактической несущей способности соединения SHERPA тип крепления может быть рассмотрен балкой с двумя заделанными концами. Поскольку эта статически неопределимая задача при изгибе, с помощью [4] могут быть обработаны экспериментальные результаты из табл. 1. Сравнение расчётных результатов несущей способности соединения SHERPA с использованием предлагаемых уравнений (1-10) и экспериментальных результатов показано в табл. 2.

Таблица 2

**Сравнение расчётных и фактических результатов**

На широкой стороне панели из CLT для эксперимента №.1			На узкой стороне панели из CLT для эксперимента №.3			Вдоль волокон балки из LVL для эксперимента №.2		
$F_{v,ф,1,CLT}^1$	$F_{v,р,1,CLT}^2$	$\mu_1^3$	$F_{v,ф,3,CLT}$	$F_{v,р,3,CLT}$	$\mu_3$	$F_{v,ф,2,CLT}$	$F_{v,р,2,CLT}$	$\mu_2$
27830	23309	19,40%	26910	25124	7,11%	22600	30920	26,91%

Примечания:

1.  $F_{v,ф,CLT}$  - фактическая несущая способность, Н;
2.  $F_{v,р,CLT}$  - расчётная несущая способность, Н;
3.  $\mu_n$  - процентное соотношение  $F_{v,ф,n,CLT/LVL}$  и

$$F_{v,р,n,CLT/LVL}; \mu_n = \frac{F_{v,ф,n,CLT/LVL} - F_{v,р,n,CLT/LVL}}{F_{v,р,n,CLT/LVL}} \cdot 100\% ;$$

n - номер экспериментов.

Из табл. 2 очевидно, что расчётные результаты ниже, чем фактические и разница между обоими результатами составляет максимум до 26.9%, минимум до 7.11%. С использованием предлагаемых уравнений (1-10) численная модель может прогнозировать несущую способность соединения на изгиб. В своей очереди погрешность для оценки фактической несущей способности соединения в реальном проектировании уже имеет достаточную точность и безопасность.

**Выводы**

1. Предложен новый численный алгоритм для расчёта прочности соединения SHERPA на изгиб в деревянных конструкциях в зависимости от сопротивления шурупа на выдергивание, сопротивления древесины и металлических накладок смятию в гнездах и

прочности элементов соединений деревянных конструкций на металлических накладках и шурупов на сдвиг;

2. Получены новые данные о несущей способности соединения SHERPA в деревянных конструкциях в составе стеновой панели-CLT и балки из CLT и LVL на изгиб;

3. Теоретически рассчитаны и экспериментально подтверждены расчётные значения.

### Список литературы

1. Йохансен. К. У. Теория деревянных соединений // Международной ассоциации мостостроения и строительной техники. — 1949.
2. Компания Харрер. Руководство — SHERPA. Австрия, 2010.
3. Общие информации о компании SHERPA. — URL: <http://de.sherpa-connector.com/>.
4. Тимошенко С. П. Курс сопротивления материалов. — Киев: Изд-во кн. маг. Л. Идзиковского, 1911. — 163 с.
5. Численные и экспериментальные исследования несущей способности SHERPA. — URL: [http://www.harrer.at/dl/hft\\_sherpa\\_2013.pdf](http://www.harrer.at/dl/hft_sherpa_2013.pdf).

### 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, ректор СПГХПА, г. Санкт-Петербург.