

РАСЧЁТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СОЕДИНЕНИЯ SHERPA НА ВЫДЕРГИВАНИЕ В ДЕРЕВЯННОЙ КОНСТРУКЦИИ В СОСТАВЕ ПАНЕЛИ-CLT И БАЛКИ ИЗ CLT И LVL

Сюй Юнь¹

¹ *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)*

Рассматривается влияние поперечного воздействия от ветра и землетрясения на надёжность деревянных зданий. Дана расчётная схема для описания несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов. Описана методика расчёта в зависимости от несущей способности шурупов на выдергивание, прочности металлических накладок на растяжение, физико-механических характеристик деревянных материалов и действия от нагрузки ветра и землетрясения. Проведено численное и экспериментальное исследование несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов в деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели-CLT с балкой из CLT и LVL. Указаны основные проблемы, главной из которых является неудовлетворение требования прочности металлических накладок на растяжение. После сравнительного анализа экспериментальных и расчётных результатов на основе данных уравнений, автором предложено оптимальное решение для совершенствования проектирования соединения SHERPA.

Ключевые слова: несущая способность на выдергивание, прочность металлических накладок на растяжение

THE CALCULATION OF THE WITHDRAWAL STRENGTH OF CONNECTION SHERPA IN THE WOODEN STRUCTURE FORM THE COMBINATION OF WALL PANEL-CLT AND BEAM FROM CLT OR LVL

Xu Yun¹

¹ *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*

The influence of transverse action from wind and earthquake on the reliability of the wooden buildings is considered in this paper. The calculating method for describing the load bearing capacity of the connection SHERPA with the withdrawal strength of screws is given. The methodology of calculation depending on the withdrawal strength of screws, the tension strength of metal panels, physical and mechanical properties of wooden materials and action of the load from wind and earthquake is described. The numerical and experimental study about calculation of the withdrawal strength of connection SHERPA in the wooden structure from the combination for the wall panel-CLT with beams from CLT or LVL is carried out. The main challenges, major from which is unsatisfied demands of the tension strength of metal panels is indicated. After a comparative analysis of actual and calculated results based on the referred equations, a optimal solutions for perfection of the load bearing capacity and design of connection SHERPA is proposed.

Keywords: withdrawal strength, tension strength of aluminous panels

При расчёте несущей способность крепежа SHERPA под нагрузкой вдоль оси балки по сопротивлению на выдергивание шурупов должны учитываться воздействия от ветра и землетрясения на соединениях, вызывающие поперечное перемещение здания. Нагрузка, влияющая на наветренные стороны сооружений, зависит от характера фасада обдуваемого сооружения или предмета, жесткости крепления, его подвижности или условий его движения, назначения и плотности воздуха [1]. Нагрузка от ветрового воздействия на здание определяется в соответствии с [3]. Сейсмическое воздействие представляется одним из основных понятий в сейсмостойком строительстве и означает приложение колебательного

возбуждения землетрясения к различным постройкам [2]. Воздействие от землетрясения определяется в соответствии с [4]. Соединение SHERPA в деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели-CLT с балкой из LVL и CLT, состоит из двух алюминиевых деталей, образующих жесткое соединение по принципу классического «ласточкина хвоста» и крепится с использованием вертикальных и наклонных шурупов. В диссертационной работе автора было проведено численное и экспериментальное исследование несущей способности шурупов на выдергивание из панели из CLT и балки из LVL.

Целью настоящей работы является формирование математического алгоритма для определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов.

Экспериментальное исследование и расчётная схема по определению несущей способности крепежа по сопротивлению на выдергивание шурупов представлены на рис. 1.

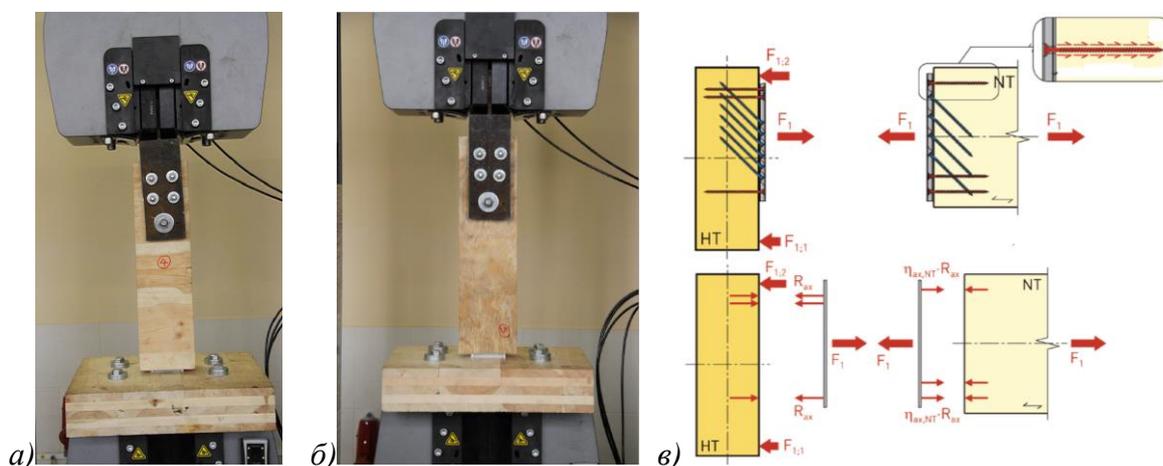


Рис. 1. Экспериментальное и численное исследование несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов: *а*— для стеновой панели с балкой из CLT; *б*— для стеновой панели-CLT с балкой из LVL; *в*— расчётная схема по определению несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов

С учётом физико-механических и геометрических характеристик соединения SHERPA его несущая способность по сопротивлению на выдергивание шурупов зависит от следующих факторов:

- несущей способности шурупов на выдергивание, Н;
- прочности металлических накладок на растяжение, МПа;
- контактной площади между выступами двух металлических накладок, мм²;
- физико-механических характеристик деревянных материалов;
- поперечной нагрузки от ветра и землетрясения, Н.

Автором предложено новое сочетание формул для определения несущей способности

соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов на основе различных норм, показанное в следующих уравнениях:

- несущая способность шурупа на выдергивание из панели-CLT, Н:

$$F_{ax,k} = \frac{f_{ax,90,k} \cdot d \cdot l_{ef}}{(\sin \alpha)^2 + 1,5(\cos \alpha)^2} \quad [5] \quad (1)$$

$$f_{ax,90,k} = 0,0872 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,4119} \cdot \left(\frac{1}{\pi}\right) \quad [6] \quad (2)$$

$$F_{ax,k,CLT} = \mu_\alpha \cdot F_{ax,k} \quad (3)$$

- несущая способность шурупа на выдергивание из балки-LVL вдоль волокон в соответствии с [7], Н:

$$F_{ax,k,LVL} = \pi \cdot d \cdot l_{ef} \cdot f_{v,\alpha,k} \quad (4)$$

$$f_{v,\alpha,k} = \frac{f_{ax,90,k}}{(\sin \alpha)^2 + 1,5(\cos \alpha)^2} \quad (5)$$

$$f_{ax,90,k} = 0,003 \cdot (\pi \cdot d \cdot l_{ef})^{-0,2} \cdot \rho_k \quad (6)$$

- несущая способность соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов в деревянных конструкциях, Н:

$$F_{ax,k,SHERPA} = n \cdot \min(F_{ax,k,CLT}, F_{ax,k,LVL}, F_{t,алю}) \quad (7)$$

где:

$F_{t,k,алю}$ — прочность алюминиевого куба на растяжение; $F_{t,k,алю} = 6824,68$ Н;

n — количество шурупов;

μ_α — коэффициент коррекции; при $\alpha = 0^\circ$, $\mu_0 = 1,1$; при $\alpha = 90^\circ$, $\mu_0 = 1,2$;

α — угол оси шурупа к волокнам древесины.

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

Поскольку в работах автора использованы конструкция «балка из LVL (брус из клееного шпона) и стеновой панели из CLT (панель из поперечно-клееной древесины)», необходимо определить плотности материалов из CLT и LVL. Температура в лаборатории 20 ± 1 °С и влажность материалов 13%. На основе полученных результатов из испытания плотности определяются равным 495 кг/м^3 для CLT и 560 кг/м^3 для LVL.

Виды разрушения соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов представлены на рис. 2.

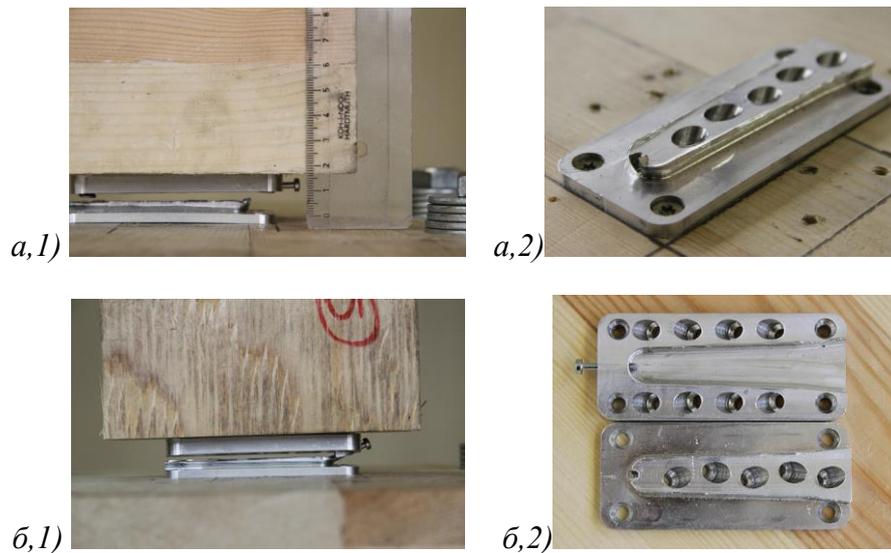


Рис. 2. Виды разрушения соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов: *a,1*—для панели-CLT с балкой из CLT; *a,2*— для металлической накладок, которая крепится к стеновой панели-CLT; *б,1*— для стеновой панели-CLT с балкой из LVL; *б,2*— пластическое разрушение металлических накладок

Для расчётов и обработки результатов использовались программ *Microsoft Excel*, *Origin pro*, *IBM SPASS Statistics*, *Mathcad*.

Экспериментальные результаты определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивие шурупов даны в табл.1 в соответствии с зависимостью «нагрузка-перемещение» на рис. 3.

Таблица 1

Экспериментальные результаты определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов

На балке из CLT			На балке из LVL		
$F_{ax, test}$	$F_{ax, теку}$	$F_{ax, max}$	$F_{ax, test}$	$F_{ax, теку}$	$F_{ax, max}$
11258,00	18370,61	18373,45	12714,60	16201,53	17601,23
$\omega_{LVL/CLT}$	12,94%				

Примечания: $F_{ax, test}$ — фактическая несущая способность, Н; $F_{ax, max}$ — максимальная несущая способность, Н; $F_{ax, теку}$ — предел текучести материала, Н; $\omega_{CLT/LVL}$ — приращение $F_{ax, test, LVL}$ и $F_{ax, test, CLT}$;

$$\omega_{CLT / LVL} = \frac{F_{ax, test, CLT} - F_{ax, test, LVL}}{F_{ax, test, LVL}} \cdot 100\%$$

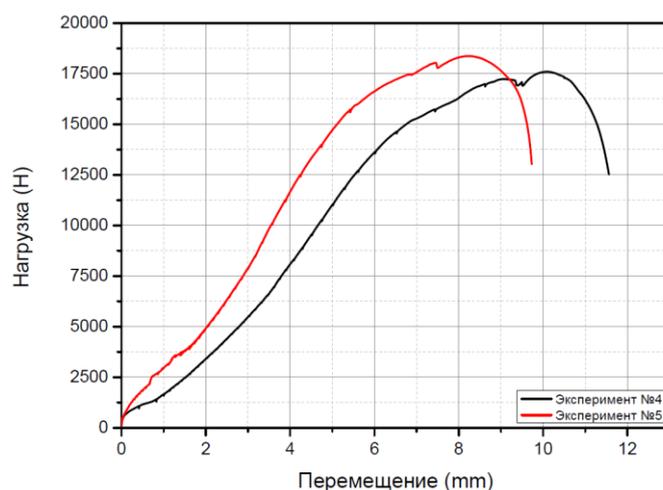


Рис. 3. Зависимость «нагрузка-перемещение» для определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов: красная кривая— для балки из CLT; чёрная кривая— для балки из LVL

Из табл. 1 видно, что экспериментальные результаты для комбинации стеновой панели-CLT с балкой из CLT ниже на 12,94%, чем комбинации стеновой панели-CLT с балкой из LVL. Металлические накладки SHERPA изготавливают из алюминиевого материала-EN 6082, прочность опирается по BS EN 755-2:2008. С учётом контактной площади при сжатии несущая способность металлических накладок на растяжение составляет 6824,68 Н.

На основе предложенных уравнений, сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов с несущей способностью на растяжение металлических накладок представлено в табл. 2 в соответствии с графиком на рис. 4.

Таблица 2

Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов с несущей способностью на растяжение металлических накладок

Параметр	На широкой стороне CLT	На узкой стороне CLT	Вдоль волокон балки из LVL	Алюминиевые накладки
F_p	14430,48	13863,91	24336,00	6824,681
ω_p	111,45%	103,14%	256,59%	-
F_ϕ	-	11258,00	12714,59	-
ω_ϕ	-	64,96%	86,30%	-

Примечания: F_p — расчётная несущая способность на выдергивание, Н; F_ϕ — фактическая несущая способность на выдергивание, Н; ω_p — приращение F_p и $F_{алю}$; $\omega_p = \frac{F_p - F_{алю}}{F_{алю}} \cdot 100\%$; ω_ϕ — приращение F_ϕ и

$$F_{алю}; \omega_\phi = \frac{F_\phi - F_{алю}}{F_{алю}} \cdot 100\%$$

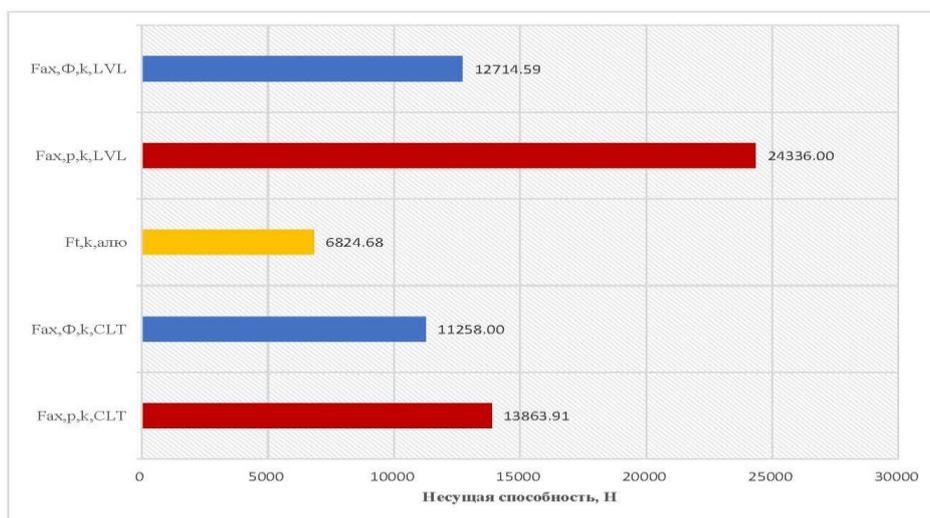


Рис. 4. Сравнение расчётных и экспериментальных результатов определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов с несущей способностью на растяжение металлических накладок

Из табл. 2 и рис. 4 видно, что расчётные результаты несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов для панели-CLT выше на минимально 103,14%, чем несущая способность алюминиевых накладок на растяжение, а экспериментальные результаты выше на минимально 64,96%, чем то же. Расчётные результаты несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов для материалов LVL выше на минимально 256,59%, чем прочность на растяжение алюминиевых накладок, а экспериментальные результаты выше на минимально 86,30%, чем то же. С другой стороны, в соединениях SHERPA появилось отчётливое пластичное разрушение, потому что прочность металлических накладок не удовлетворяет условию сопротивления на выдергивание шурупов в соединениях деревянной конструкции в целом. Для того, чтобы повысить несущую способность соединения по сопротивлению на выдергивание шурупов и усовершенствовать конструкцию соединения SHERPA, необходимо выбрать наиболее рациональный материал.

Выводы

1. Получены экспериментальные результаты определения несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов в деревянных конструкциях из комбинации стеновой панели-CLT с балкой из CLT или LVL;
2. Теоретически проверены и экспериментально подтверждено соотношение разрушения от несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов с учётом прочности металлических накладок на растяжение;
3. Предложена новая сочетания формул для расчёта несущей способности соединения SHERPA по сопротивлению на выдергивание шурупов и оптимизация проектирования

соединения SHERPA.

Список литературы

1. «Ондулин». Информационный сайт. Режим доступа: <http://www.onduline.ru/blog/chtotakoe-etrovaya-nagruzka>
2. «Википедия». Информационный сайт. Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%E5%E9%F1%EC%E8%F7%E5%F1%EA%E0%FF_%ED%E0%E3%F0%F3%E7%EA%E0
3. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. М. : Минирегион России, 2011.
4. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1982 – 48 с.
5. DIN 1052:2008. Нормы проектирования, анализа и дизайна для деревянных материалов, Германия, 2008.
6. Frese M., Fellmoser P., Влаß Н.И. Модель для расчёта сопротивления на выдергивание шурупов/ Frese M., Fellmoser P., Влаß Н.И// Университет Карлсруэ, Институт лесного машиностроения и строительных конструкций, Издательство Springer, 2009.
7. SIA 265:2003. Строительство- Плотницкие работы, Швейцарские нормы для инженеров и архитекторов, Цюрих, 2003.

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 СПбХПА, г. Санкт-Петербург.