

Вержбовский Геннадий Бернадович

Verzhbovskiy Gennadiy Bernardovich

Доцент/Associate Professor

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State Building University

E-Mail: vergen2005@yandex.ru

Щуцкий Сергей Викторович

Shchutskiy Sergey Viktorovich

Доцент/Associate Professor

Ростовский государственный строительный университет

Rostov State Building University

E-Mail: Svpikel@rambler.ru

05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения

О работе на сдвиг гвоздевых соединений элементов слоистых деревянных панелей

On shear nail joints elements laminated wood panel

Аннотация: Исследована несущая способность на сдвиг гвоздевых соединений тонких обшивок с деревянным реберным каркасом слоистых деревянных панелей. Получены общие зависимости, дающие возможность определить усилие в гвоздевом соединении в зависимости от его местоположения в панелях квадратной, треугольной и шестиугольной форм в плане.

The Abstract: The load-carrying capacity on shear nails connections of thin sheet plates with a wood rib framing of laminated wood panels of a universal set is investigated. The general associations producing a possibility to define gain in the nail connection depending on its locus in panels of square, triangular and hexagonal plane forms are obtained.

Ключевые слова: Панель, обшивка, ребро, нагель, сдвиг.

Keywords: Panel, Sheating, Rib, Nagel, Shear.

Комплексное решение вопроса о создании здания или сооружения, отвечающего современным требованиям, связано с преодолением противоречий, возникающих между архитекторами и технологами. Первые стремятся спроектировать сооружение легким, функционально эффективным, архитектурно выразительным и менее материалоемким. Если точно следовать этим положениям, конструктивные решения неизбежно усложняются. Технологи же хотят сделать сооружение как можно проще, с наименьшим количеством трудозатрат и в короткие сроки.

Устранение указанного противоречия возможно в частности при возведении многогранных пространственных сооружений с использованием плоских простых по форме и конструкции панелей из древесины и пластических масс, совмещающих несущие и ограждающие функции и позволяющих собирать как плоскостные, так и оболочечные конструкции зданий и сооружений [1]. Панели представляют собой трехслойную конструкцию, состоящую из дере-

вянного реберного каркаса с присоединенными к нему обшивками из различных эффективных листовых материалов, имеют простую геометрическую форму в плане и чаще всего являются правильными треугольником, квадратом или шестиугольником. Из комбинации указанных многоугольников можно компоновать различные пространственные конфигурации, одна из которых представлена на рисунке 1.

Выбор древесины в качестве базового материала для подобных панелей обуславливает способы соединения обшивок с реберным каркасом – клеевые или нагельные. В Ростовской области в настоящее время организовано производство и строительство деревянных легкокаркасных домов по каркасно-щитовой технологии, особенностью которой является широкое применение гвоздей в монтажных соединениях.

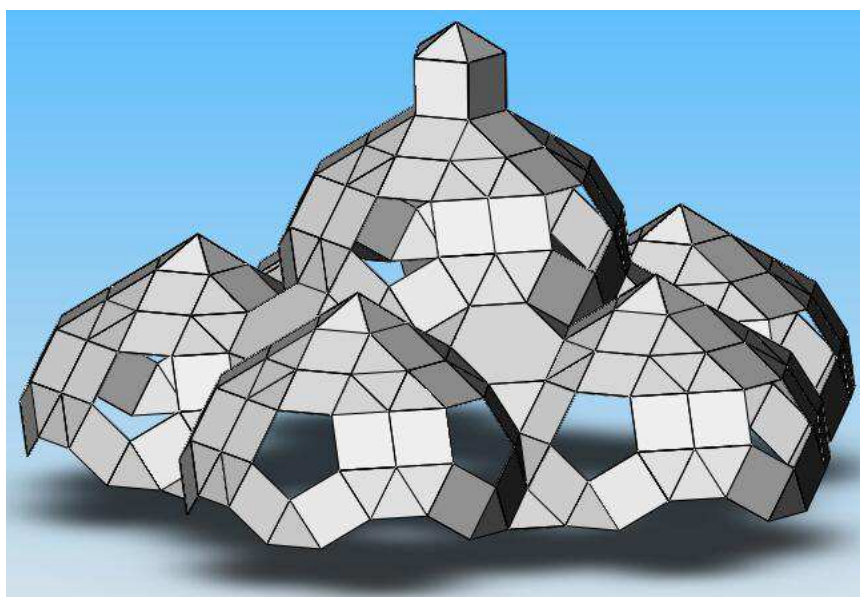


Рис. 1.

Элементы пространственных конструкций, находясь под воздействием эксплуатационных нагрузок, испытывают сложное напряженное состояние, при этом на сдвиг работают в основном гвоздевые соединения обшивок с каркасом. В настоящей статье устанавливаются предельные значения сдвиговых нагрузок, которые могут воспринять подобного рода панели.

Рассмотрим вначале панель, имеющую форму правильного треугольника (рис. 2), с гвоздевым прикреплением обшивок к контурным ребрам панели. Обозначим длину стороны панели через a_0 , а расстояние между угловыми гвоздями через a . Гвозди располагаются равномерно по длине стороны треугольника, поэтому, при их числе на одной стороне панели $n+1$, расстояние между гвоздями будет очевидно равно $\Delta = \frac{a}{n}$. Пусть расстояние от центра тяжести треугольной обшивки до угловых гвоздей будет обозначено через r_1 , тогда, выполнив несложные преобразования, запишем, при условии что h – высота треугольника, образованного линиями размещения гвоздей:

$$r_1 = \frac{2}{3}h = \frac{2}{3} \cdot \frac{a\sqrt{3}}{2}, \quad a = r_1 \cdot \sqrt{3}, \quad (1)$$

$$\text{а шаг гвоздей } \Delta = \frac{r_1\sqrt{3}}{n}.$$

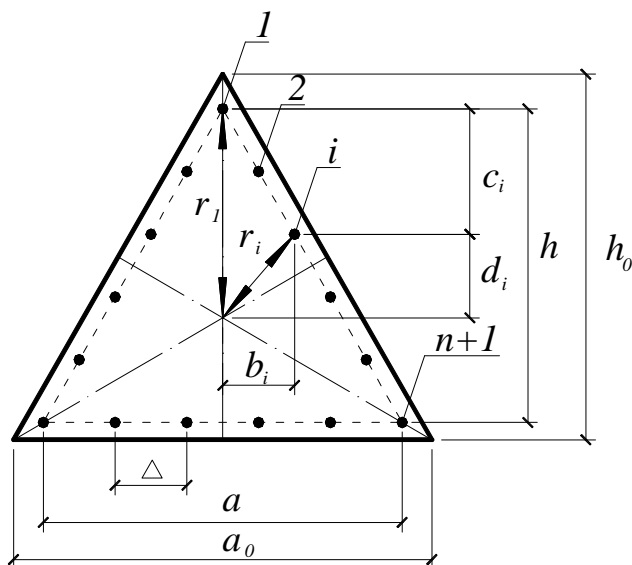


Рис. 2.

Запишем необходимые параметры для i -го гвоздя:

$$\begin{aligned}
 c_i &= (i-1) \cdot \Delta \cdot \cos 30^\circ = \frac{3(i-1)}{2n} \cdot r_1; \\
 b_i &= (i-1) \cdot \Delta \cdot \sin 30^\circ = \frac{\sqrt{3}(i-1)}{2n} \cdot r_1; \\
 d_i &= r_1 - c_i = \left[1 - \frac{3(i-1)}{2n} \right] \cdot r_1; \\
 r_i &= \sqrt{d_i^2 + b_i^2} = \frac{\sqrt{[2n - 3(i-1)]^2 + 3(i-1)^2}}{2n} \cdot r_1.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Под воздействием внешних нагрузок обшивка панели поворачивается на некоторый угол ψ относительно реберного каркаса. Этот процесс сопровождается изгибом гвоздей (рис. 3). Обозначим относительные смещения точек обшивки и ребер («перемещения» гвоздей) через δ_i . Очевидно, что $\delta_i = 2r_i \cdot \sin \frac{\psi}{2}$. Максимальные перемещения будут наблюдаться в крайних гвоздях (δ_1). В i -м гвозде величина перемещения составит $\delta_i = \frac{r_i}{r_1} \cdot \delta_1$.

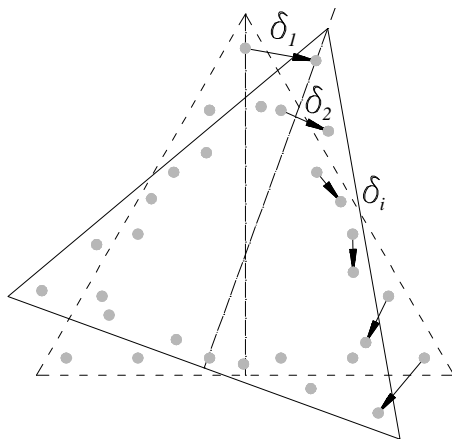


Рис. 3.

Определим максимальное сдвигающее усилие, которое может быть воспринято всеми гвоздями, прикрепляющими обшивку к каркасу. Для этого вслед за [2] введем понятие жесткость гвоздя на изгиб – k . Поставленную задачу решаем энергетическим методом.

Внутренняя энергия, накапливаемая гвоздями, равна:

$$I = \sum_i \frac{1}{2} k \cdot \delta_i^2 = \frac{k}{2} \sum_i \delta_i^2 = \frac{k \cdot \delta_1^2}{2} \sum \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2 \quad (3)$$

Обозначим полное сдвигающее усилие через R_3 . В силу того, что панель находится в составе многогранного покрытия, на одну вершину панели будет действовать усилие $R_3/3$. Работа этого усилия запишется следующим образом:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_3}{3} \cdot \delta_1 = \frac{R_3 \cdot \delta_1}{6}. \quad (4)$$

Приравняв (3) и (4) и обозначив максимальное усилие в гвозде как $s = k \cdot \delta_1$, получим максимальную величину сдвигающего усилия, которое может быть воспринято треугольной панелью с двумя обшивками:

$$R_3 = 6s \sum \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2. \quad (5)$$

Очевидно, что минимальное значение R_3 будет в случае, когда обшивки крепятся гвоздями к реберному каркасу только в вершинах панели: $R_3 = 6s$. В реальном проектировании гвозди ставятся гораздо чаще, и поэтому фактическая величина R_3 будет больше.

Под знаком суммы в (5) находится отношение квадратов расстояний от центра тяжести i -го и вершинного гвоздей. Эта величина легко находится из (2):

$$\left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2 = \frac{[2n - 3(i-1)]^2 + 3(i-1)^2}{4n^2}. \quad (6)$$

Обозначим для краткости письма $(i-1)$ через t и раскроем скобки в числителе (6):

$$\left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2 = \frac{1}{n^2} \cdot (n^2 - 3tn + 3t^2),$$

тогда (5) примет вид

$$R_3 = \frac{6s}{n^2} \sum_{i=1}^n (n^2 - 3tn + 3t^2). \quad (7)$$

В последнем выражении суммирование осуществляется до n , а не до $n+1$, так как сумма вычисляется для одной стороны треугольника с одним вершинным гвоздем. (7) можно преобразовать к более простому виду

$$R_3 = \frac{3s}{n} (1 + n^2). \quad (8)$$

Перейдем к рассмотрению панели в форме правильного шестиугольника (рис. 4). В нем можно выделить шесть одинаковых треугольников, находящихся в равных условиях. Из рассмотрения одного треугольника по аналогии с предыдущими рассуждениями следует:

$$\begin{aligned}
 r_1 &= a; \quad \Delta = \frac{r_1}{n}; \quad h = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot r_1; \quad c_i = \frac{\sqrt{3}(i-1)}{2n} \cdot r_1; \\
 b_i &= \left(\frac{i-1}{2n} + \frac{1}{2} \right) \cdot r_1; \quad d_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \left(1 - \frac{i-1}{n} \right) \cdot r_1; \\
 r_i &= \frac{\sqrt{n^2 - n \cdot (i-1) + (i-1)^2}}{n} \cdot r_1; \quad \delta_i = \frac{r_i}{r_1} \delta_1.
 \end{aligned} \tag{9}$$

Внутренняя энергия, накапливаемая гвоздями, будет по-прежнему определяться выражением (3), а работа усилия, приходящегося на одну вершину панели, запишется в виде

$$A = \frac{1}{2} \cdot \frac{R_6}{6} \cdot \delta_1 = \frac{R_6 \cdot \delta_1}{12}. \tag{10}$$

Таким образом, максимальная величина сдвигающего усилия в шестиугольной панели с двумя обшивками

$$R_6 = 12s \sum \left(\frac{r_i}{r_1} \right)^2,$$

что даст после преобразований

$$R_6 = \frac{12s}{n^2} \sum_{i=1}^n (n^2 - tn + t^2). \tag{11}$$

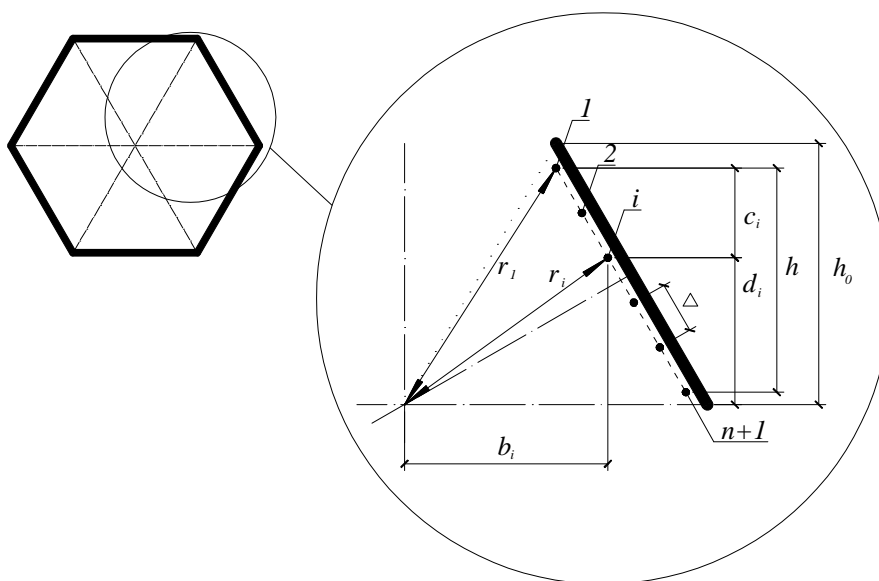


Рис. 4.

Последнее равенство можно переписать так:

$$R_6 = \frac{2s}{n} (1 + 5n^2). \tag{12}$$

Для квадратной панели целесообразно воспользоваться готовым решением, приведенным в [2], которое после описанных выше действий запишется в виде

$$R_4 = \frac{8s}{3n} [3\sqrt{2}n(n-1)(\sqrt{2}-1) + n^2 + 2]. \quad (13)$$

В реальных панелях помимо контурных могут быть и внутренние ребра, на которых также размещаются гвозди. Определение величины их вклада в общую несущую способность элемента покрытия выполняется так же, как и для контурных нагелей, однако этот вопрос выходит за рамки настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кавелин А.С. Несущая способность гвоздевых соединений элементов деревянных стеновых панелей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2003. - 24с.
2. Никулин В.А., Вержбовский Г.Б., Веселев Ю.А. Универсальный набор панелей. – Патент на полезную модель № 36409 от 10.03.2004.
3. CSA 086.1-94 Engineering Design in Wood. Canadian Standards Association, 1994.