

УДК 691.11-41

НАЗНАЧЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ШАГА ПРОДОЛЬНЫХ НЕСУЩИХ РЕБЕР В ДЕРЕВЯННЫХ РЕБРИСТЫХ ПАНЕЛЯХ

Вдовин Вячеслав Михайлович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза*

*кандидат технических наук, профессор кафедры «Строительные
конструкции»*

Карпов Владимир Николаевич,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза*

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции»

Мартышкин Даниил Олегович,

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза*

аспирант кафедры «Строительные конструкции»

Аннотация.

Рассматривается ребристая 3-слойная панель с несущими деревянными ребрами и обшивками из древесно-плитных материалов. Приводятся расчетные формулы для назначения предельного шага расстановки несущих продольных ребер, в которых учтена действительная работа верхней обшивки на местные нагрузки. Даны конкретные расчеты предельного шага несущих ребер для ребристых панелей с различными обшивочными материалами. Приводится обоснование рационального применения в ребристых панелях клеевого соединения обшивок и ребер по сравнению с гвоздевым.

Ключевые слова: деревянный дом, ребристая панель, несущие ребра, предельный шаг, обшивка.

APPOINTMENT OF THE LIMIT STEP OF LONGITUDINAL BEARING RIBS IN WOODEN RIBS PANELS

Vdovin Vjacheslav Mikhajlovich

Penza State University of Architecture and Construction, Penza

Candidate of Sciences, Professor of the department "Building constructions"

Karpov Vladivir Nikolievich

Penza State University of Architecture and Construction, Penza

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department "Building constructions"

Martyshkin Daniil Olegovich

Penza State University of Architecture and Construction, Penza

Post-graduate student of the department "Building constructions"

Abstract.

A ribbed 3-layer panel with bearing wooden ribs and skin made of wood-based materials is considered. Calculation formulas are given for designating the limiting step of the arrangement of bearing longitudinal ribs, which take into account the real work of the upper skin for local loads. Concrete calculations of the limiting pitch of the bearing ribs for ribbed panels with various skin materials are given. The rationale for the rational use in the ribbed panels of the glue connection of skins and ribs in comparison with nailing is given.

Keywords: wooden house, ribbed panel, bearing ribs, limit step, skin.

Ребристые деревянные панели достаточно широко применяются при строительстве деревянных домов. Основные принципы проектирования таких панелей и назначение размеров их элементов показаны в работе [1]. Опыт применения таких панелей показал, что в равной степени находят применение панели клееные, в которых обшивка и несущие ребра соединены между собой с помощью клея и панели, в которых обшивки и несущие ребра соединены с помощью гвоздей или шурупов. В панелях второго типа обшивки и ребра

работают независимо друг от друга, в связи, с чем такие панели обладают пониженной несущей способностью и жесткостью.

Верхняя обшивка панели является настилом с пролетами, равными расстоянию между ребрами (c). Таким образом, расстояние между ребрами (c) является величиной, влияющей на работу верхней обшивки и на работу несущих ребер, т.е. на работу всей панели.

Найдем предельную величину (c), больше которой её нельзя принимать. За основу приняты требования норм (СП 64.13330.2017. "Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80."), предъявляемые к расчету настилов по условиям прочности и жесткости с учетом двух сочетаний действующих нагрузок.

Для панелей с креплением обшивок на гвоздях или шурупах имеем:

1). Из условия прочности обшивки шириной 1 м, на изгиб от первого сочетания нагрузок (собственный вес $g_{св}$ плюс временная нагрузка $P_{сн}$) имеем:

$$M_{он} = 0,125(g_{св} + P_{сн}) \cdot c^2 \leq R_u \frac{\delta_{во}^2}{6}$$

откуда

$$c \leq \sqrt{\frac{R_u \cdot \delta_{во}^2}{0,75(g_{св} + P_{сн})}} = 1,155 \cdot \delta_{во} \sqrt{\frac{R_u}{(g_{св} + P_{сн})}},$$

(1)

где $\delta_{во}$ – толщина верхней обшивки;

R_u – расчетное сопротивление верхней обшивки изгибу.

2). Из условия необходимой жесткости обшивки при действии нагрузок по первому сочетанию:

$$\frac{f}{c} = \frac{2,13(g_{св} + P_{сн}) \cdot c^3}{384E \frac{\delta_{во}^3}{12}} \leq \left[\frac{f}{l} \right]$$

откуда при $\left[\frac{f}{l} \right] = \frac{1}{200}$ имеем

$$[c] = \sqrt[3]{\frac{0,75E \cdot \delta_{60}^3}{(g_{сб}^H + P_{сн}^H)}} = 0,432\delta_{60} \sqrt[3]{\frac{E}{(g_{сб}^H + P_{сн}^H)}} \quad (2)$$

3). Из условия прочности от действия нагрузки по второму сочетанию (собственного веса и сосредоточенного груз $P^H = 1$ кН с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,2$) на участке верхней обшивки шириной 1 м имеем:

$$M = (0,07g_{сб} \cdot c^2 + 0,207P^H \cdot \gamma_f \cdot c) \leq R_u \frac{\delta_{60}^2}{6} m_n, \quad (3)$$

где $m_n = 1,2$ – учитывает кратковременный характер действия монтажной нагрузки.

Без учета нагрузки от собственного веса (в виду его малости) из выражения (3) имеем

$$c \leq \frac{R_u \cdot \delta_{60}^2 \cdot m_n}{6 \cdot 0,207 \cdot P^H \cdot \gamma_f} = 0,805R_u \delta_{60}^2 \quad (4)$$

Как видно из выражений (2) и (4) величина пролета между ребрами зависит от толщины обшивки (δ_{60}). Поэтому расстояние между ребрами можно задавать лишь исходя из толщины верхней обшивки (по размерам сортамента материала верхней обшивки).

В качестве верхней обшивки ребристых панелей могут быть приняты следующие материалы: фанера, древесностружечные плиты (ДСП), цементностружечные плиты (ЦСП), плиты OSB и другие. В табл. 1 приведены данные для назначения предельных размеров пролета [с]. Следует заметить, что в табл. 1 приведены предлагаемые максимальные размеры [с], фактические размеры с могут быть приняты меньше [с].

Нижняя обшивка панели работает на изгиб от собственного веса и утеплителя. Ввиду незначительной величины этой нагрузки нижнюю обшивку можно не рассчитывать. Обычно она принимается такой же или меньшей толщины, чем верхняя обшивка.

Крепление обшивки к несущим ребрам рассмотренных выше панелей производят гвоздями или шурупами диаметром 3 – 5 мм длиной 60 – 70 мм. Шаг расстановки гвоздей или шурупов назначают конструктивно около 300 мм.

Таблица 1 - Предельные величины шага продольных ребер панели [с]

№ п/ п	Материал обшивки	Величины [с] подсчитанные по формуле, см			Максима льная величина [с], см
		(1)	(2)	(4)	
1	2	3	4	5	6
1.	Фанера $\delta_{\phi}=8$ мм ($R_{и}=6,5$ МПа, $E=9 \cdot 10^4$ МПа)	54	63	32	32
2.	Фанера $\delta_{\phi}=10$ мм ($R_{и}=6,5$ МПа, $E=9 \cdot 10^4$ МПа)	68	79	52	52
3.	Фанера $\delta_{\phi}=12$ мм ($R_{и}=6,5$ МПа, $E=9 \cdot 10^4$ МПа)	81	95	74	74
4.	ДСП $\delta_{дсп} = 13$ мм ($R_{и}=4$ МПа, $E=10^3$ МПа)	69	49	54	49
5.	ДСП $\delta_{дсп} = 16$ мм ($R_{и}=4$ МПа, $E=10^3$ МПа)	84	60	82	60
6.	ДСП $\delta_{дсп} = 19$ мм ($R_{и}=4$ МПа, $E=10^3$ МПа)	99	72	116	72
7.	ЦСП $\delta_{цсп}=12$ мм ($R_{и}=4,2$ МПа, $E=35 \cdot 10^2$ МПа)	64	67	48	48
8.	ЦСП $\delta_{цсп}=16$ мм ($R_{и}=4,2$ МПа, $E=35 \cdot 10^2$ МПа)	84	89	48	48
9.	ЦСП $\delta_{цсп}=18$ мм ($R_{и}=3,5$ МПа, $E=35 \cdot 10^2$ МПа)	86	101	90	86
10.	OSB $\delta_{осб} = 10$ мм ($R_{и}=5$ МПа, $E=48 \cdot 10^2$ МПа)	59	64	40	40
11.	OSB $\delta_{осб} = 12$ мм ($R_{и}=5$ МПа, $E=48 \cdot 10^2$ МПа)	71	77	58	58

12	OSB $\delta_{osb} = 16$ мм ($R_{и}=5$ МПа, $E=48 \cdot 10^2$ МПа)	94	103	78	78
----	--	----	-----	----	----

Для панелей, в которых обшивки соединены с ребрами на клею аналогичный расчет следует выполнять для схемы балки защемленной по концам, т.е. на максимальный изгибающий момент в обшивке $M = (P \cdot c)/8$ по величине которого из условия прочности получают выражение для предельного шага $[c]$. Для определения $[c]$ в таких панелях можно воспользоваться [1] формулой

$$[c] = 1,333 \cdot \delta_{об}^2 \cdot R_{и}$$

Назначив требуемый шаг несущих ребер, определяют количество продольных несущих ребер и подсчитывают нагрузку, действующую на одно ребро. Дальнейший расчет не вызывает затруднений, т.к. расчет ребер производится по схеме однопролетной балки нагруженной равномерно-распределенной нагрузкой. Для такой балки расчет по подбору размеров поперечных сечений не вызывает особых трудностей.

Преимущество клеевого соединения в ребристых панелях очевидное. Однако ниже приводится оценка его.

В клееных панелях обшивки и ребра работают совместно (вплоть до разрушения панели), поэтому геометрические характеристики панели будут складываться из параметров обшивок и ребер, используя принцип приведенных сечений через отношение их модулей упругости. Поскольку основной величиной при проверке прочности и жесткости панелей, работающих на изгиб, является приведенный момент инерции ($J_{пр}$), запишем его величину как

$$J_{пр} = J_p \left(1 + \frac{E_{об} \cdot J_{об}}{E_p \cdot J_p} \right), \quad (5)$$

где второе слагаемое учитывает дополнительную величину к моменту инерции от обшивок.

Запишем (5) в виде

$$J_{np} = J_p (1 + \kappa),$$

где κ после преобразования имеет вид

$$\kappa = \frac{E_{об}}{E_p} \frac{3F_{об}}{F_p} \left(1 + \frac{\delta}{h_p} \right) \quad (6)$$

В формуле (6) приняты следующие обозначения

$F_{об}$ – площадь поперечного сечения обшивок;

F_p – площадь поперечного сечения ребра;

δ – толщина обшивки;

h_p – высота сечения ребра.

Изменение коэффициента κ для частного вида симметричного сечения панели принято из [2] и приведено на рис. 1.

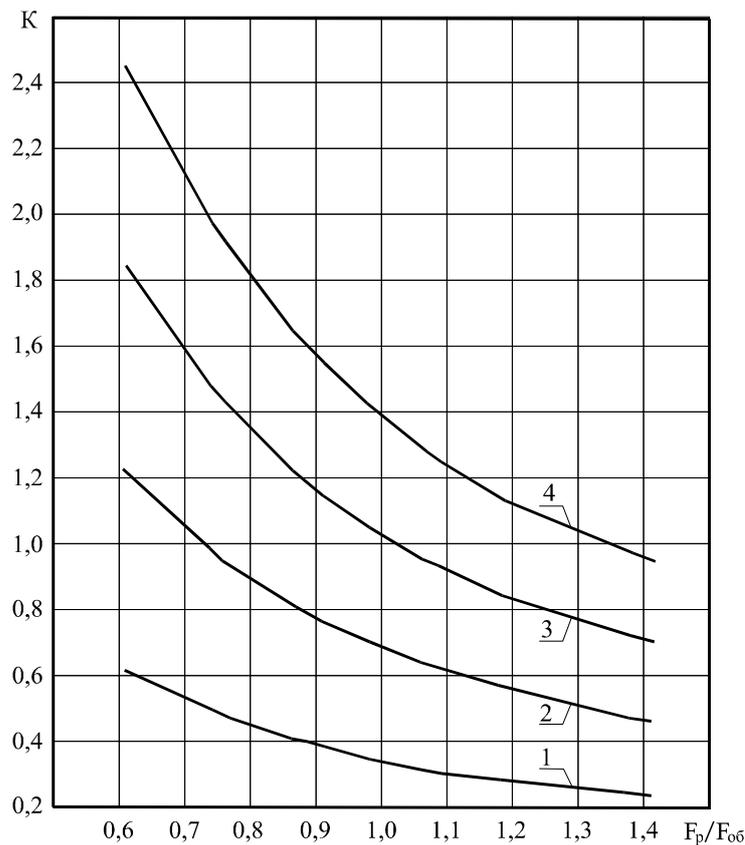


Рисунок 1 - Графики зависимостей κ от $F_p/F_{об}$ при различных $E_{об}/E_p$:

1 – $E_{об}/E_p = 0,1$; 2 – $E_{об}/E_p = 0,2$; 3 – $E_{об}/E_p = 0,3$; 4 – $E_{об}/E_p = 0,4$

График приводится для произвольных значения $E_{об}/E_p$ и показывает естественную картину, что с увеличением модуля упругости обшивки $E_{об}$ доля

участия обшивки в работе всей панели возрастает и могут быть случаи, когда доля работы обшивок может быть 2 и более. Это говорит о том, что клееные ребристые панели выгодно отличаются от панелей с гвоздевым (или на шурупах) прикреплением обшивок к ребрам.

Если обшивки и ребра выполнены из одного материала, например из древесно-стружечных плит (Шведский вариант), то доля участия обшивок резко возрастает и фактически работают лишь одни обшивки, а ребра служат лишь соединительными элементами. Поэтому если необходимо увеличить долю участия обшивок в работе всей панели, то необходимо использовать материал для обшивок с повышенным модулем упругости или приближающимся к модулю упругости материала ребра.

Используя графики рис. 1 можно легко подсчитать приведенный момент инерции панели, зная лишь момент инерции ребер.

Библиографический список:

1. Вдовин В.М. Конструкции из дерева и пластмасс. Ограждающие конструкции. Учебное пособие, 2-е изд. Москва, Юрайт, 2017. С. – 178.
2. Вдовин В.М. Поиск оптимальных решений конструкций и рациональных требований к материалам промышленных деревянных домов: моногр. / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов. – Пенза: ПГУАС, 2019. – 120 с.