

УДК 692.522.3:691.588/.88

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЯ ПОЛНОСБОРНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ДОМОВ

Карпов Владимир Николаевич,

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

кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции».

Князев Николай Владимирович,

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

студент.

Аннотация

Рассматривается возможность изменения конструктивного решения панелей перекрытия полносборных деревянных домов с целью обеспечения их проектной несущей способности, без запасов прочности, но отвечающей требованиям достаточной надежности и технологичности изготовления панелей. Предложено клеегвоздевое соединение обшивок и ребер. Приводится анализ результатов натурных испытаний панелей перекрытия, имеющих клеевые швы с гвоздевой опрессовкой трех ребер из девяти.

Ключевые слова: натурные испытания, полносборный деревянный дом, панель перекрытия, несущие ребра, обшивка, клеегвоздевое соединение, двухпролетная балка, жесткость, несущая способность.

ANALYSIS OF FULL-SCALE TESTS

ROOF SLAB FOR PREFABRICATED WOODEN HOUSES

Karpov Vladivir Nikoloyevich,

Penza State University of Architecture and Construction, Penza,

Candidate of Sciences, Associate Professor of the department “Building constructions”.

Knyazev Nikolay Vladimirovich,

*Penza State University of Architecture and Construction, Penza,
student.*

Abstract

The possibility of changing the structural solution of the roof slab for prefabricated wooden houses in order to ensure their design load-bearing capacity, without safety margins, but meeting the requirements of sufficient reliability and manufacturability of the panels is considered. A glued-nail joint of the skins and ribs is proposed. The analysis of full-scale tests of roof slabs with glue seams with nail pressing of three out of nine ribs is given.

Keywords: full-scale tests, prefabricated wooden house, roof slab, load-bearing ribs, skins, glued-nail joint, two-span beam, stiffness, load-bearing capacity.

В качестве исследуемых конструкций были приняты несущие панели перекрытий полносборных деревянных домов, в которых обшивки выполнялись из древесностружечных плит, а ребра – из досок сечением 35x118 мм (после острожки досок сечением 40x125 мм). Соединение всех девяти ребер с обшивками согласно проектному решению принято клеевым, что увеличивает жесткость и несущую способность панелей на 15 – 20% за счет включения обшивок в совместную работу с ребрами [1]. Однако, если полностью исключить клеевое соединение во всех ребрах, панель без учета работы обшивок будет иметь недостаточную несущую способность и жесткость.

Задачей исследований является приведение панели к проектной несущей способности, без запасов прочности, но отвечающей требованиям достаточной надежности. Самым простым решением было бы уменьшение количества несущих ребер. Однако, такое решение для полносборных домов является неприемлемым, поскольку верхняя обшивка панели работает на местный изгиб, опорами для которой являются ребра. Поэтому было принято решение осуществить приклеивание частичного количества ребер и не в поле токов

высокой частоты (ТВЧ), а использовать гвоздевой прижим элементов панели (обшивки и ребер), склеиваемых клеем ФР-50.

В экспериментальных панелях три несущих ребра имели клеегвоздевое соединение с обшивками, при этом гвозди выполняли роль обжима клеевого шва. Остальные шесть ребер не имели клеевого соединения с обшивками.

С целью оценки работы таких панелей под нагрузкой на поточных линиях комбината полносборных деревянных домов были изготовлены три панели, предназначенные для домов серии 101-1-3П.

Общий вид панелей, подвергнутых испытаниям показан на рис. 1.

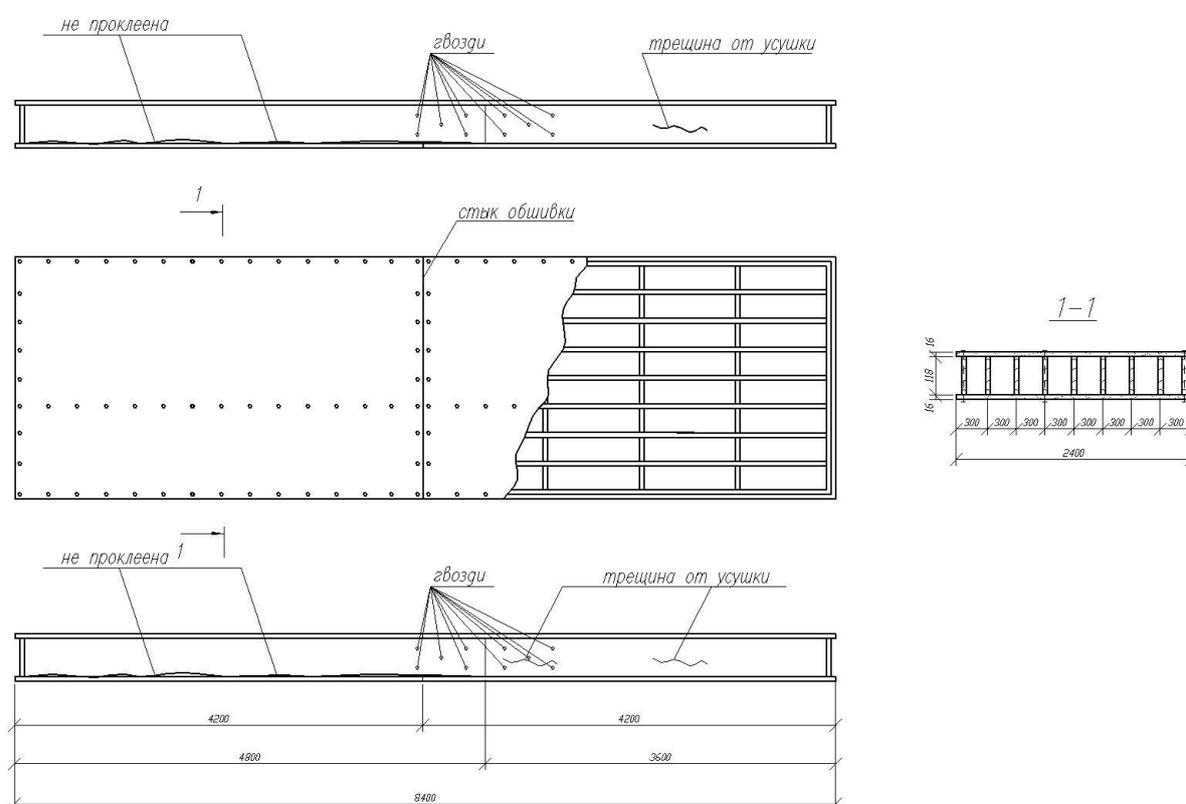


Рисунок 1 - Панель перекрытия

Листы древесностружечных плит не имели стыковых накладок, соединялись "впритык" и располагались над средней опорой, т.е. в сечении с максимальным изгибающим моментом. Это делалось с целью проверить достаточную несущую способность ребер без учета работы обшивок. Деревянные несущие ребра имели стыки по длине панели. Стыки выполнялись

с применением боковых накладок, прикрепляемых к ребрам с двух сторон с помощью клея ФР-50 и дополнительно прибивались гвоздями диаметром 3 мм длиной 70 мм по 5 штук с каждой стороны стыка.

Панель работает по схеме 2-х пролетной неразрезной балки с пролетами $l_1 = 3,675$ м и $l_2 = 4,575$ м (рис. 2).

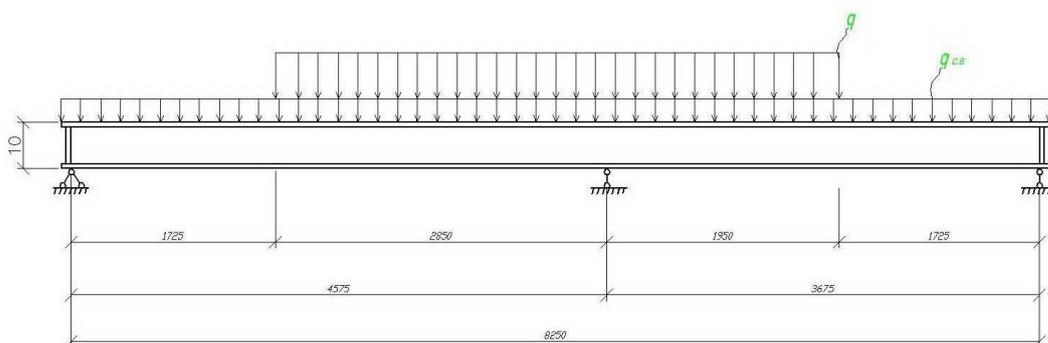


Рисунок 2 - Схема нагрузок

$q_{св}$ – постоянная нагрузка от собственного веса;

q – полная полезная (чердак) нагрузка

С целью проверки надежности работы стыков ребер, все стыки располагались в одном сечении (над опорой).

До испытаний были подсчитаны нормативные и расчетные нагрузки, а также проведены конструктивные расчеты панели. Были вычислены максимальные расчетные усилия, возникающие над средней опорой. Характеристики сечения панели определены с учетом разномодульности материалов и неравномерности распределения напряжений по ширине панели.

По найденным усилиям и геометрическим характеристикам выполнены конструктивные проверки прочности всех элементов панели (обшивок и ребер).

С целью выявления фактической несущей способности и жесткости панелей, в которых обшивки и три ребра соединены между собой клеевыми швами и гвоздевым забоем и работающих в условиях близких к расчетным в системе дома серии 101-1-3П, были проведены натурные испытания 3-х панелей.

В основу кратковременных испытаний была положена ранее разработанная методика испытаний для панелей перекрытий [1, 2].

Испытания проводились на специальном испытательном стенде в производственных условиях домостроительного комбината. Схема расстановки приборов показана на рис. 3.

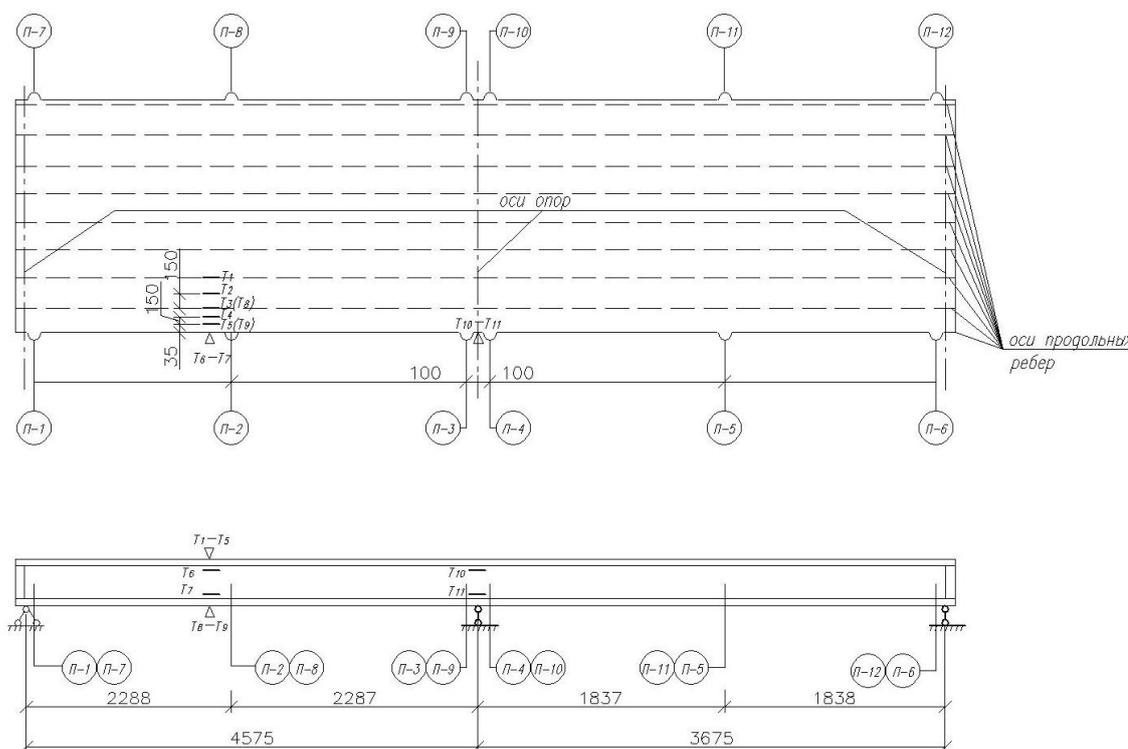


Рисунок 3 - Схема расположения приборов

Нагрузка прикладывалась поэтапно, величина ступени каждого этапа принималась равной $\approx 0,1 P_{\text{контр.}}$, то есть равной $0,90 \text{ кН/м}^2$. После каждого этапа нагружения делалась выдержка в течение 5 минут и снимались отсчеты по приборам, фиксирующим линейные деформации элементов панели и ее прогиб. Испытания проводились до разрушения панелей.

Разрушение панели ПКГ-1 произошло на 11 этапе при нагрузке $P = 9,50 \text{ кН/м}^2$. Панель ПКГ-2 выдержала 12 этапов нагружения и разрушилась при нагрузке $P = 10,80 \text{ кН/м}^2$. Панель ПКГ-3 выдержала 8 этапов, разрушилась при $P = 7,20 \text{ кН/м}^2$.

Установлено, что причиной разрушения панелей явился полный отрыв обшивок от ребер, вследствие чего резко возрастали напряжения в ребрах, и наблюдалось разрушение самих ребер. Разрушению панелей предшествовало, начиная с 3-го этапа нагружения, взаимное смещение (сдвиг) стыковых накладок в ребрах в месте их стыка над средней опорой, что приводило к нарушению неразрезности плиты над средней опорой, и перераспределению опорного момента в пролетные участки, вследствие чего возрастали пролетные моменты. Явные разрушения ребер панелей наблюдались в большом пролете, а не над опорой, где должен быть при неразрезной схеме панели наибольший изгибающий момент.

Вследствие недостаточной несущей способности стыковых соединений продольных ребер, обшивки в этом сечении были перегружены, что привело к разрушению панели ПКГ-2, сопровождающемуся разрывом обшивки по всей ширине панели над средней опорой. В тех же панелях, где обшивки оторвались от ребер на ранних этапах нагружения такого явления, естественно, не наблюдалось, т.к. обшивки работали независимо от ребер.

Практически во всех трех панелях при окончательном разрушении было замечено нарушение целостности клеевых швов, соединяющих обшивки и ребра. Сначала разрушились швы, где не было опрессовки, а затем швы, где имелась гвоздевая опрессовка.

Установлено, что разрушение клеевых швов произошло вследствие недостаточной адгезионной связи, т.е. отсутствия должного сцепления между склеиваемыми поверхностями. Это связано с отсутствием обжима (опрессовки) в склеиваемых изделиях. Вместе с тем, те ребра, где гвозди создавали определенную опрессовку, клеевой шов получился достаточно прочным и разрушение соединения обшивки с ребром произошло по древесине ребра, а не по клеевому шву, как это наблюдалось во всех других ребрах, где не было гвоздевой опрессовки.

Были построены графики нарастания прогибов в панелях, из которых видно, что прогибы существенно увеличиваются перед моментом разрушения

панели. Это говорит о развитии пластической работы материалов панели и податливости соединений элементов панели. Более пологий наклон графика нарастания прогибов, начиная с 4 ÷ 5-го этапов, свидетельствует о нарушении совместной работы обшивок и ребер, вследствие разрушения клеевых швов, что приводит к снижению жесткости панели.

Практически во всех трех панелях на 3 ÷ 4-ом этапах нагружения наблюдается замедление роста прогибов. Это может быть связано с временным увеличением жесткости панели, вызванным, по всей вероятности, наличием совместной работы обшивок и ребер, которая затем на последующих этапах нарушается.

Таблица 1 - Максимальные усилия (M и Q) и напряжении в панели в момент разрушения

Марка плиты	Максимальные усилия		Нормальные, максимальные напряжения (σ), МПа			Максимальны е касательные напряжения, МПа	
	$M_{оп}$, кН·м	Q кН	в ребре		в обшивках	в ребре	в шве
			с учетом работы обшивок	без учета работы обшивок			
1	2	3	4	5	6	7	8
ПКГ-1	36,103	29,19	$\frac{27,60}{28,75}$	49,30	3,51	$\frac{1,0}{3,0}$	$\frac{0,31}{0,93}$
ПКГ-2	41,16	33,28	$\frac{31,46}{32,78}$	56,20	4,00	$\frac{1,14}{3,42}$	$\frac{0,353}{1,06}$
ПКГ-3	27,37	22,13	$\frac{20,92}{21,79}$	37,37	2,66	$\frac{0,758}{2,27}$	$\frac{2,35}{0,705}$

Примечание: В знаменателе указаны величины нормальных и касательных напряжений в панелях, в которых только три ребра (пробитых гвоздями) обеспечивают совместную работу с обшивками.

Максимальные прогибы испытанных панелей составили: для панели ПКГ-1 – 6,8 мм; для панели ПКГ-2 – 18,1 мм; для панели ПКГ-3 – 9,46 мм.

Была проведена оценка результатов испытаний при действии разрушающих нагрузок (с учетом собственного веса панели) в сечениях панелей. Данные расчетов приведены в табл. 1.

Коэффициенты, определяющие достаточную несущую способность панелей, приведены в табл.2.

Таблица 2 - Значения коэффициентов

Марка панели	$K_1 = \frac{M_{\text{разр.}}}{M_{\text{расч.}}}$	$K_2 = \frac{M_{\text{разр.}}}{M_{\text{контр.}}}$	$K_3 = \frac{M_{\text{разр.}}}{M_{\text{контр.,зн}}}$
1	2	3	4
ПКГ-1	$\frac{36,103}{7,359} = 4,9$	$\frac{36,103}{37,54} = 0,96$	$\frac{36,103}{19,01} = 1,90$
ПКГ-2	$\frac{41,16}{7,359} = 5,59$	$\frac{41,16}{37,54} = 1,10$	$\frac{41,16}{19,01} = 2,16$
ПКГ-3	$\frac{27,37}{7,359} = 3,72$	$\frac{27,37}{37,54} = 0,73$	$\frac{27,37}{19,01} = 1,44$

Примечание: Коэффициент K_3 подсчитан для случая отсутствия клеевых швов или недостаточной их прочности.

Коэффициенты K_1 значительно больше двух, что говорит о большом запасе прочности (или несущей способности) панелей. В связи с этим можно полагать, что в работу панели включается не только деревянные ребра, но и часть обшивок посредством имеющихся клеевых швов между ребрами и обшивками. Однако при этом нельзя утверждать, что обшивки включаются в работу полностью, т.е. достаточно прочны все клеевые швы. Как показал анализ результатов испытаний и характер их разрушений, в работу включалась только та часть клеевых швов, в которой был обеспечен гвоздевой прижим. Все остальные клеевые швы были разрушены уже к 3-ему этапу, и в дальнейшем

совместная работа обшивок и ребер обеспечивалась клеевыми швами только тех участков ребер, где были забиты гвозди.

Если считать, что обшивки не включаются в работу, т.е. клеевые швы не работают (или отсутствуют), то нормальные напряжения в ребрах в момент разрушения будут равны $37,4 \div 56,2$ МПа, что маловероятно, так как для древесины сосны 2-ого сорта предел временного сопротивления составляет $30 \div 35$ МПа. Поэтому можно предположить, что обшивки, включаясь в работу панелей, снижают тем самым напряжения в ребрах. С другой стороны, если считать, что обшивки полностью включаются в работу, то уровень нормальных напряжений в ребрах должен быть меньше, чем предел временного сопротивления древесины. Таким образом, есть основания считать, что в работу включается только та часть клеевых швов, в которых обеспечен прижим гвоздями. В этом случае $\sigma_{\max} = 28,8; 32,8; 21,8$ МПа, что приближается к $R_{sp} = 33$ МПа. Данный вывод подтверждается также величинами касательных напряжений. Если распределять сдвиговые усилия на все швы, то величины касательных напряжений слишком малы, чтобы вызвать разрушение ребер или швов. Если же считать, что в работе на восприятие скалывающих напряжений участвуют три клеевых шва (ребра, пробитые гвоздями), то величины касательных напряжений в момент разрушения ($\tau = 0,93; 1,06; 0,71$ МПа) ближе подходят к пределу временного сопротивления при скалывании.

Установлено, что панели обладают достаточной жесткостью, т.к. выполняется требование [3]: $f/l < [1/250]$.

Таким образом, испытания показали достаточно высокую несущую способность панели с клеегвоздевыми соединениями обшивок и ребер, о чем свидетельствуют значения коэффициента $K_1 = M_{\text{разр}}/M_{\text{расч}} = (4,9; 5,59; 3,72) \gg 2$. Несущая способность предлагаемой конструкции панели перекрытия достаточна для восприятия действующих на нее расчетных нагрузок в системе дома серии 101-1-3П.

Библиографический список:

1. Вдовин В.М., Карпов В.Н. Несущие панели с применением древесно-стружечных плит для малоэтажного домостроения: монография. Пенза: ПГУАС, 2014. 144 с.

2. Вдовин В.М., Карпов В.Н. Полноборный деревянный дом из крупных индустриальных панелей: монография. Пенза: ПГУАС, 2015. 148 с.

3. СП 64.13330.2017. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. М.: Минстрой России, 2017.