

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ ПАНЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОБШИВКОЙ ИЗ СТЕКЛОМАГНИЕВЫХ ЛИСТОВ

**Украинченко Д.А., канд. техн. наук,
Котлов В.Г., канд. техн. наук, профессор,
Иванов С.А., Соболев А.Д.**

**Оренбургский государственный университет
Поволжский государственный технологический университет, РФ,
Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола**

Практика отечественного и зарубежного строительства подтвердила эффективность и экономическую целесообразность применения в зданиях и сооружениях совмещенных конструкций, выполняющих одновременно несущие и ограждающие функции. В покрытии это могут быть различного рода плиты «на пролет», пространственные шпренгельные плиты и фермы, которые монтируются непосредственно на колонны, подстропильные конструкции или несущие продольные стены, при этом продольные ребра выполняют функции балок или колонн, а обшивки, включенные в общую работу панели, вместе со вспомогательными ребрами являются ограждающими элементами возводимого объекта.

Совершенствование этой технологии строительства из древесины и древесных материалов возможно путем разработки унифицированных по своим технологическим качествам плит покрытия и панелей стен заводского изготовления, которые будут являться основой для разнотипных жилых и производственных малоэтажных объектов. Кроме этого дальнейшего снижения стоимости и как следствие повышения технико-экономической эффективности и целесообразности применения совмещенных панельных конструкций является применение современных материалов обшивок, включенных в общую работу.

В качестве обшивок, включенных в общую работу панельных конструкций, широко используется фанера. Кроме этого, в практике проектирования совмещенных панельных конструкций нашли свое применение и обшивки из клееных деревянных брусков. Степень включения фанерных и клеенощитых обшивок, в том числе с поперечным армированием, были изучены ранее путем проведения натуральных испытаний на полноразмерных панельных конструкциях [1, 2, 3].

Выполнив оценку стоимостных показателей листовых материалов представленных на строительном рынке и их физико-механических характеристик, сделан вывод, о том, что использование стекломagneзитовых листов могут, является перспективным направлением в области совершенствования развития панельных конструкций с обшивками, включенными в общую работу конструкции. Однако, широкое применение стекломagneзитовых листов в качестве обшивок совмещенных панельных конструкций сдерживает отсутствие сведений о степени их включения в общую работу конструкции.

С целью изучения действительной работы стекломагниевого листа в составе совмещенных конструкций на основе древесины для испытаний были изготовлены две панели П-образного поперечного сечения. Панели выполнены с обрамляющими элементами, включенными в общую работу конструкции и исключенными из нее, поскольку включение обрамляющих ребер панели в ее общую работу приводит к смещению нейтральной оси к стекломагневой обшивке и как следствие снижение степени включения обшивки в работу. С целью изучения данного эффекта в обрамляющих элементах второй панели были выполнены пропилы. Кроме этого принцип исключения из работы обрамляющих элементов может быть применен при изготовлении панелей, а именно в качестве обрамляющих ребер могут быть использованы доски из низкосортной древесины, что существенно уменьшит количество отходов лесоперерабатывающих предприятий.

Панели со стекломагневой обшивкой были рассчитаны под нормативную изгибную нагрузку $4,50 \text{ кН/м}^2$ по СП 20.13330.2011

Изготовление панели проводилось в соответствии с требованиями руководства по изготовлению и контролю качества деревянных клееных конструкций. Опытная конструкция после сборки и установки на опоры, показаны на рисунке № 1.

Панели испытывали в горизонтальном положении как конструкцию имеющую с одной стороны шарнирно-подвижную, с другой – шарнирно-неподвижную опоры. Для определения деформаций приборы были установлены на элементы конструкции П-образного поперечного сечения согласно рисунку №2. Напряжения в элементах конструкции измеряли согласно общепринятой методики с использованием тензорезисторов с базой 20мм и микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64, которая обеспечивала время снятия отсчетов не более 1 секунды.

Панели нагружали только изгибной нагрузкой, приложенной к продольным ребрам через специальные щиты. Всего на исследуемой панели П-образного поперечного сечения было установлено 40 тензорезистора, 12 прогибомеров, 4 индикатора.

Для обработки результатов испытаний определяли модули упругости древесины и стекломагниевого листа. Образцы для определения упругих характеристик отбирали из основных ребер и обшивки панели после проведения испытаний. Из каждого элемента конструкции вырезали по шесть образцов. Отбор образцов проводили на участках ребер и обшивки в зонах расположения тензорезисторов. Значения упругих характеристик древесины и стекломагниевого листа, установленные стандартными испытаниями на изгиб, составили: $E_{др}=13500 \text{ МПа}$, $E_c=2900 \text{ МПа}$. Влажность стандартных образцов при определении модуля упругости соответствовала влажности в момент испытания панелей, определялась электронным влагомером МГ-4Д и составила 8...10%.

В связи с отсутствием прочностных характеристик стекломагниевого листа в нормативно-технической литературе был проведен комплекс испытаний данного материала.

Описание материала. Лист представляет собой композиционную систему на основе магниевой арми-



древесно-альной составляющей сеткой.

Рисунок 1- Панель П-образного поперечного сечения с обшивкой из стекломагнезиевого листа, установленная на опоры



Рисунок 2 - Прогибомеры, установленные в середине и третях пролета



Рисунок 3- Определение предела прочности при сжатии
стекломагниевого листа



Рисунок 4 - Определение предела прочности при изгибе образцов
отобранных вдоль и поперек стекломагниевого листа

Испытания проводились по нормативным методикам при послойном составлении контрольных образцов из фрагментов правильной геометрической формы, полученных механическим выпиливанием из цельного листа.

По представленным в таблице 1 результатам можно отметить, что предел прочности при изгибе контрольных образцов, составленных из фрагментов, отобранных в однонаправленном направлении листа, не зависит от количества слоев и расстояния между опорами. Однако, четко выражена разница прочности образцов отобранных вдоль и поперек листа, что скорее всего связано с конструктивными особенностями армирующей сетки.

Таблица 1 Сводная таблица экспериментальных данных

№	Наименование показателя	Условное обозначение	Единица измерения	Фактическое значение
1	Предел прочности при сжатии	$R_{сж}$	кгс/см ²	175
2	Предел прочности при изгибе вдоль поперек	$R_{изг}^в$	кгс/см ²	25,7
		$R_{изг}^п$	кгс/см ²	19,4
3	Коэффициент неоднородности прочности при изгибе вдоль и поперек материала	K_n	-	1,32
4	Коэффициент трещиностойкости вдоль поперек	$K_T^в$	-	0,147
		$K_T^п$	-	0,111

Испытание панели с включенными в работу конструкции обрамляющими элементами.

Максимальные прогибы основных ребер в середине пролета находились в пределах норм. Значения фактического прогиба от нормативной нагрузки составило в среднем 3,87 мм, а относительный прогиб был равен 1/594 от расчетного пролета. При действии на панель расчетной нагрузки значение прогиба увеличилось до 6,15 мм и составило $1/374l_{расч}$.

Кроме этого, в процессе испытаний наблюдалась депланация поперечного сечения панели между диафрагмами. Наибольшая величина расхождения ребер в уровне их нижних граней составила 0,08мм при нормативной нагрузке и 0,09 мм при расчетной. Отметим, что все деформации панели и её элементов нарастают практически пропорционально значениям действующих нагрузок.

Напряженное состояние элементов панели оценивали по результатам тензометрирования. Анализ тензометрирования показал, что продольные обрам-

ляющие элементы панелей полностью включаются в общую работу системы, тем самым увеличивая её прочность и жесткость. С другой стороны, стоит отметить, что при включении продольных обрамляющих элементов в общую работу конструкции нейтральная ось смещается к стекломагниевой обшивке, что приводит к увеличению скалывающих напряжений.

Работу обшивок под нагрузкой изучали, наблюдая за изменениями в ней нормальных сжимающих напряжений. Принимая, что по толщине пластины изгибные напряжения меняются по линейному закону относительно срединной плоскости, по разности напряжений верхней и нижней сторон обшивки, выделяли напряжения изгиба и напряжения сжатия для точек, в которых датчики наклеены с обеих сторон. В результате были получены закономерности распределения напряжений сжатия по ширине обшивки.



Рисунок 5 – Снятие отсчетов с регистрирующих приборов. Третья ступень

Таблица 2 Прогибы панели и её элементов при нормативной нагрузке и расчетной нагрузке

Элемент панели	Норм. нагр.		Расчетн. нагр.	
	$f_n, \text{мм}$	f_n/l	$f_p, \text{мм}$	f_p/l
Основные ребра, середина пролета	3,87	1/594	6,15	1/373
Обшивка, центр отсека относительно основных ребер	0,21	1/5714	0,48	1/2500
Депланация основных ребер по середине между диафрагмами	0,08	-	0,09	-

Сжимающие напряжения, действующие в стекломагниево́й обшивке, имели максимальные значения у основных ребер и минимальные в середине поля обшивки.

В результате анализа работы обшивки под действием возрастающих нагрузок были определены фактические величины коэффициентов приведения обшивки для испытанной панели 1,2x2,4 м, которые составили при работе панели на изгиб - $k_{об}=0,39$.

Испытание панели с исключенными из работы конструкции обрамляющими элементами.

Максимальные прогибы основных ребер в середине пролета находились в пределах норм. Значения фактического прогиба от нормативной нагрузки составило в среднем 5,10мм, а относительный прогиб был равен 1/450 от расчетного пролета. При действии на панель расчетной нагрузки значение прогиба увеличилось до 7,41 мм и составило 1/310.

Кроме этого, в процессе испытаний наблюдалась депланация поперечного сечения панели между диафрагмами. Наибольшая величина расхождения ребер в уровне их нижних граней составила 0,41 мм при нормативной нагрузке и 0,83 мм при расчетной. Отметим, что все деформации панели и её элементов нарастают практически пропорционально значениям действующих нагрузок.

Анализ тензометрирования показал, продольные обрамляющие элементы панелей полностью исключены из общей работы системы. С другой стороны, стоит отметить, что при исключении продольных обрамляющих элементов в общую работу конструкции нейтральная ось смещается к нижней грани продольного ребра, что приводит к увеличению включения в работу обшивки.

Работу обшивок под нагрузкой изучали, наблюдая за изменениями в ней нормальных сжимающих напряжений. Принимая, что по толщине пластины изгибные напряжения меняются по линейному закону относительно срединной плоскости, по разности напряжений верхней и нижней сторон обшивки, выделяли напряжения изгиба и напряжения сжатия для точек, в которых датчики наклеены с обеих сторон. В результате были получены закономерности распределения напряжений сжатия по ширине обшивки.

Таблица 3 Прогибы панели и её элементов при нормативной нагрузке и расчетной нагрузке

Элемент панели	Норм. нагр.		Расчетн.нагр.	
	f_n , мм	f_n/l	f_p , мм	f_p/l
Основные ребра, середина пролета	5,10	1/450	7,41	1/210
Обшивка, центр отсека относительно основных ребер	0,41	1/2926	0,84	1/1428
Депланация основных ребер по середине между диафрагмами	0,09	-	0,18	-

Сжимающие напряжения, действующие в стекломагнезиевой обшивке, имели максимальные значения у основных ребер и минимальные в середине поля обшивки.

В результате анализа работы обшивки под действием возрастающих нагрузок были определены фактические величины коэффициентов приведения обшивки для испытанной панели 1,2x2,4 м, которые составили при работе панели на изгиб - $k_{об}=0,45$.

Проведенные экспериментальные исследования стекломагнезиевых листов и деревянных панельных конструкций с обшивкой на их основе позволили определить фактические физико-механические характеристики стекломагнезиевого листа, получить новые экспериментальные данные о действительной картине распределения напряжений в элементах совмещенной панели (в ребрах и обшивке), оценить ее несущую способность и деформативность, степень включения обшивки в общую работу конструкции и неравномерность распределения нормальных напряжений по ширине обшивки, как с включенными, так и с исключенными из работы конструкции обрамляющими элементами. Таким образом, выявлено, что стекломагнезиевая обшивка в сравнении с фанерной хуже включается в общую работу конструкции, что приводит к снижению общих геометрических характеристик поперечного сечения панели в целом. С другой стороны, стоимость стекломагнезиевых листов на 20 – 30 % ниже стоимости фанеры в зависимости от ее сорта.

Список литературы

1. Украинченко, Д.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния плит покрытия и панелей стен с клеодоцатой обшивкой / Д.А. Украинченко, Л.А. Муртазина, К.В. Шмелев // *Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: сборник материалов Международной научной конференции (12-13 ноября 2014 г., Москва) / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. Ун-т. – Электрон. дан. и прогр. (29 Мб). Москва: МГСУ, 2015г. - С. 218-222.*

2. Жаданов, В.И. Результаты испытания клефанерной совмещенной стеновой панели 1,5×3,0м / В.И. Жаданов, Е.В. Тисевич, Д.А. Украинченко // *«Известия Орел-ГТУ»*. Серия «Строительство. Транспорт». № 2/18 (543). 2008г. - С. 3-8.

3. Украинченко, Д.А. Особенности напряженно-деформированного состояния изгибаемых панелей с клеодоцатой обшивкой / Д.А. Украинченко, В.И. Жаданов // *Известия вузов. Строительство*, №3. – Новосибирск, 2011г. - С. 116-123