

**ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ СОТ НАПОЛНИТЕЛЯ С ОБШИВКАМИ ОБЛЕГЧЕННОГО ЩИТА**

In the article results of researches on studying are presented to strength of gluing of lightweight boards with paper honeycomb. Strength of gluing of honeycomb paper so how is one of main and basic parameters of quality of manufacturing of lightweight boards with facings. Mathematical model is constructed, describing dependence of tensile strength at right angles plane of gluing of honeycomb of filler with facings from process conditions (charge of glue, pressure). Results of research allow establishing optimum modes of gluing of lightweight boards with paper honeycomb core with polyurethane glue.

**Введение.** В течение последних лет во всем мире наблюдается возрастающий интерес к облегченным щитам с бумажным сотовым наполнителем для производства мебели и столярно-строительных изделий. В ряде случаев эти материалы могут заменить традиционные древесные материалы плотностью приблизительно 650–900 кг/м<sup>3</sup> (ДСтП, ДВП средней плотности, МДФ, фанеру и т. д.). В настоящее время более совершенным и перспективным материалом является многослойный щит бескаркасной конструкции со средним слоем бумажного сотового наполнителя. Главными преимуществами таких материалов при производстве мебели являются:

- свобода выбора формата и толщины облегченного щита;
- простота изготовления;
- низкое потребление энергии;
- эффективное использование транспортных средств;
- сравнительно низкая себестоимость.

Однако облегченные щиты с бумажным сотовым наполнителем являются не новым материалом, так как они сравнительно давно используются для изготовления дверных полотен, а до этого на протяжении многих десятилетий конструкции подобного типа применяются в космической и автомобильных отраслях промышленности. Следует отметить, что в быстро растущей азиатской мебельной промышленности большинство всех мебельных панелей составляют облегченные щиты со средним ячеистым слоем. Однако размер ячейки наполнителя и высота среднего слоя обычно составляют больше 15 мм, потому что для меньших размеров ячеек технология производства является более трудоемкой.

Бумажный сотовый наполнитель производят по стандартной технологии с раскаткой.

Вторым традиционным процессом для изготовления бумажного наполнителя является процесс гофрирования. При стандартном гофрировании картонных листов можно получить маленькие размеры ячеек (5 мм), имеющих большую плотность и жесткость по сравнению с ячейками в виде сот.

До сих пор облегченные щиты с наполнителем изготавливают с внутренним каркасом для

обеспечения возможности фрезерования кромки и использования обычной соединительной фурнитуры. Такое точное планирование и изготовление отдельных компонентов мебели препятствует ее массовому производству.

В настоящее время в связи с развитием производства машинного оборудования и разработкой новой соединительной фурнитуры для мебели облегченные щиты с бумажным сотовым наполнителем могут быть изготовлены бескаркасной конструкции на полуавтоматических или автоматических линиях.

Показатели физико-механических свойств облегченных щитов с бумажным сотовым наполнителем бескаркасной конструкции являются важной информацией при конструировании изделий мебели. Хотя многослойные панели с сотовым наполнителем многие десятилетия широко используются в космической и автомобильной отраслях промышленности, информация, касающаяся физико-механических свойств таких материалов, является ограниченной.

В данной работе изложены результаты изучения прочности склеивания сот наполнителя с обшивками облегченного щита, определено влияние технологических факторов на эти характеристики. Прочность склеивания сот наполнителя с обшивками является одним из главных и основных показателей качества изготовления облегченных щитов.

**Основная часть.** Облегченные щиты с бумажным сотовым наполнителем представляют собой слоистую конструкцию, сочетающую в себе две тонкие обшивки и сотовый наполнитель, расположенный между ними. В данных конструкциях существует тесная связь между применяемыми материалами и способом изготовления. При изготовлении этих материалов могут использоваться различные технологические процессы: холодное и горячее склеивание. Во время склеивания бумажный сотовый наполнитель испытывает максимальные нагрузки. При неправильном выборе силового режима получить качественный облегченный щит невозможно. Высокое давление при склеивании приведет к неплоскостности лицевых поверхностей щита и неоднородности свойств щита. Следовательно, давление при склеивании

облегченных щитов не должно превышать максимальной прочности при сжатии, которую обеспечивает бумажный сотовый наполнитель. Температурно-временной режим склеивания не должен приводить к деструкции клеевого соединения сотов. Также должна быть создана прочная конструкция без расслоений.

Были проведены исследования по определению влияния технологических факторов (расход клея, давление склеивания) на прочность склеивания сот наполнителя с обшивками облегченного щита полиуретановым и поливинилацетатным клеями.

Исследования проводили в лабораторных условиях на оборудовании кафедры технологии и дизайна изделий из древесины Белорусского государственного технологического университета.

В проводимых экспериментах исследовали облегченные щиты, сконструированные из среднего слоя бумажного сотового наполнителя (размер ячейки 15 мм, плотность бумаги 110 г/м<sup>2</sup>) и тонких поверхностных обшивок из МДФ толщиной 3,2 мм и плотностью 958 кг/м<sup>3</sup>.

Определение предела прочности наполнителя при сжатии по толщине производили с использованием универсальной разрывной машины.

На подложку, выпиленную из МДФ, нанесли клеевой слой. Затем растягивали наполнитель до размера ячеек 15 мм (радиус вписанной окружности в правильный шестиугольник), наклеивали на подложку, закрепляли и после отверждения клея обрезали до заданного размера.

Образец помещали на стол испытательной машины наполнителем вниз и нагружали силой так, чтобы обеспечивалось равномерное сжатие по всей поверхности образца (рис. 1). Образец нагружали со скоростью 1 мм/мин. Опыт прекращали тогда, когда образец начинал сминаться. По шкале силоизмерителя фиксировали наибольшую силу  $P_{max}$  (кг), которую выдержал образец. После снятия нагрузки на ребрах сот наполнителя не было вмятин.



Рис. 1. Схема испытания бумажного сотового наполнителя на сжатие

По этой силе определяли условный предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж}$ , кг/см<sup>2</sup>:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_{max}}{F}, \quad (1)$$

где  $F$  – площадь образца, см<sup>2</sup>.

Также при испытании производили запись кривых «нагрузка – деформация», по которым определяли характер деформирования и деформацию образцов при сжатии до момента потери устойчивости и смятия бумажного сотового наполнителя.

Результаты исследований по определению условного предела прочности при сжатии бумажного сотового наполнителя представлены в табл. 1.

Такой же характер зависимости мы наблюдаем и в отношении бумажного сотового наполнителя с размером ячеек 25 и 35 мм.

Наличие деформации при сжатии у исследуемых материалов – очень важное и ценное свойство, полезное при использовании их в конструкции облегченного щита. Оно означает, что допуск по толщине бумажного сотового наполнителя при разрезке его на бруски не должен превышать для ячейки размером 15 мм  $\pm 0,3$  мм, размером 25 мм –  $\pm 0,35$  мм, размером 35 мм –  $\pm 0,42$  мм.

Таким образом, давление склеивания облегченных щитов не должно превышать условного предела прочности при сжатии бумажного сотового наполнителя. Величина его диапазона устанавливается для конкретных условий.

Для получения математического описания процесса – зависимости прочности склеивания сот наполнителя с обшивками щита от расхода полиуретанового клея PUR LEIM 501 и давления склеивания был построен экспериментальный план. По технологическим причинам нами были выбраны три уровня варьирования для первого фактора (давление склеивания) и шесть уровней варьирования для второго фактора (расход клея). Рассматривались всевозможные их комбинации, кроме тех, которые заведомо не встречаются на практике.

Матрица плана данного эксперимента в натуральных обозначениях факторов приведена в табл. 2.

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что с увеличением высоты бумажного сотового наполнителя и размера его ячеек прочность при сжатии этих материалов убывает. Условный предел прочности при сжатии бумажного сотового наполнителя высотой 15 мм с размером ячейки 15 мм составил 1,59 кг/см<sup>2</sup>, при высоте 35 мм – 1,31 кг/см<sup>2</sup>.

Для вычисления коэффициентов регрессионного уравнения использовали метод наименьших квадратов (МНК), предложенный

Условной предел прочности бумажного сотового наполнителя (БСН) при сжатии

Размер ячейки БСН, мм	Высота БСН, мм	Среднее значение максимальной нагрузки $P_{cp \max}$ , кг	Напряжение при сжатии при средней максимальной нагрузке, кг/см <sup>2</sup>	Сжатие при максимальной нагрузке (деформация), мм
1	2	3	4	5
15	15	1019	1,59	0,64
	25	917	1,43	0,62
	35	835	1,31	0,63
25	15	514	0,85	0,74
	25	492	0,81	0,69
	35	468	0,77	0,70
35	15	486	0,80	0,84
	25	469	0,77	0,82
	35	446	0,73	0,89

в начале XIX в. Лагранжем и Гауссом. МНК обеспечивает такой выбор коэффициентов, при котором сумма квадратов отклонений исходных данных  $y_i$  от вычисленных по уравнению является наименьшей, т. е.

$$S = \sum [y_i - f(x_i, a_1, a_2, \dots)]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Выбор именно такого условия объясняется соображениями удобства применения математического аппарата, а также тем, что возведение отклонений в квадрат подчеркивает роль больших отклонений.

Никаких условий, кроме дифференцируемости функций  $F(x, a_0, a_1, a_2, \dots)$ , не накладывается, поэтому МНК можно применять практически во всех ситуациях. Особое значение имеет простота модели и количество коэффициентов, подлежащих определению. Поэтому круг выражений, из которых выбирают уравнение регрессии, должен быть ограничен по воз-

можности простыми случаями. Существует несколько методов для отбора переменных и обоснования полученного уравнения регрессии с использованием ЭВМ. В нашем случае мы использовали метод исключений.

Рассчитывали уравнение регрессии по критерию Стьюдента при заданном уровне значимости (0,05) и определим число степеней свободы.

Нахождение коэффициентов регрессионного уравнения и проверку адекватности регрессионной модели осуществляли на ЭВМ с использованием стандартной программы регрессивного анализа методом наименьших квадратов STATISTICA v7.0 [1].

В результате получено следующее уравнение:

$$Y = -0,5374 + 0,4276X_1 + 0,0046X_2 - 0,0981 \cdot X_1^2 - 3,365 \cdot 10^{-5} X_1 X_2 + 6,9048 \cdot 10^{-5} X_2^2. \quad (3)$$

Таблица 2

Матрица планирования в явном виде и результаты реализации эксперимента

№ опыта	Давление склеивания $X_1$ , кг/см <sup>2</sup>	Расход клея $X_2$ , г/м <sup>2</sup>	Среднее значение предела прочности при растяжении перпендикулярно плоскости склеивания сот наполнителя с обшивками щита $Y$ , МПа
1	2	3	4
1	0,7	100	0,23
2	0,7	150	0,39
3	1,0	200	0,63
4	1,0	300	1,18
5	1,3	350	1,36
6	1,0	150	0,50
7	0,7	300	1,15
8	1,3	250	0,96
9	1,3	150	0,57
10	0,7	350	1,32
11	1,0	100	0,25
12	1,3	100	0,29
13	1,3	300	1,21
14	1,0	250	0,90
15	0,7	200	0,53
16	1,3	200	0,76
17	0,7	250	0,88
18	1,0	350	1,34

Но при проверке коэффициентов регрессионного уравнения  $Y$  заметно, что  $a_5$  и  $a_6$  при  $X_1X_2$  и  $X_2^2$  не являются значимыми. Поэтому, используя метод исключений, остаются следующие значимые коэффициенты:  $a_1, a_2, a_3, a_4$ . Перерасчет уравнения регрессии показал его следующий вид:

$$Y = -0,5374 + 0,4276X_1 + 0,0046 X_2 - 0,0981 X_1^2. \quad (4)$$

Используя полученное адекватное уравнение регрессии, построили графическую зависимость прочности склеивания сот наполнителя с обшивками щита (рис. 2).

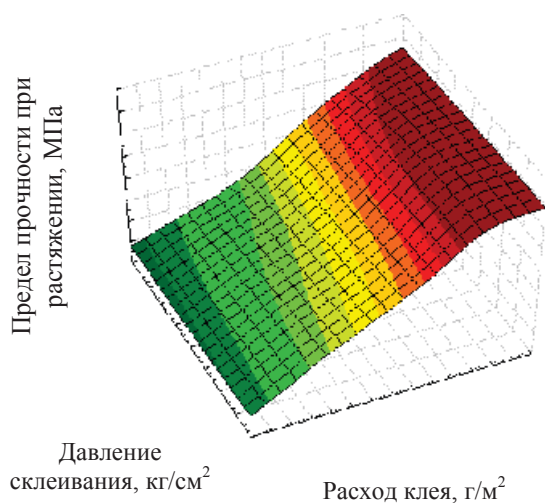


Рис. 2. Влияние технологических факторов на прочность склеивания сот наполнителя с обшивками щита полиуретановым клеем

Анализ полученных данных показал, что изменения адгезионной прочности в зависимости от давления склеивания (в исследуемых границах) незначительны.

Значительное изменение адгезионной прочности происходит при увеличении расхода клея. При расходе клея 100 г/м<sup>2</sup> адгезионная прочность составляет 0,29 МПа, а при расходе клея 350 г/м<sup>2</sup> этот показатель равен 1,36 МПа.

При испытании на растяжение перпендикулярно плоскости склеивания сот наполнителя с обшивками приблизительно 80% образцов имели смешанную характеристику разрушения клеевого соединения, а 20% разрушались на границе материала по МДФ. Следует отметить, что при расходе клея 150 г/м<sup>2</sup> образцы стали разрушаться по МДФ, при этом прочность склеивания составляла ~0,39 МПа, что соответствует пределу прочности при растяжении перпендикулярно к пласти МДФ. Можно предположить, что дальнейшее увеличение расхода клея будет нецелесообразным.

Также изучали влияние расхода клея и давления при склеивании облегченных щитов с БСН поливинилацетатным клеем (ПВА). Однако в хо-

де проведения предварительных опытов было выявлено следующее: при склеивании щитов данным типом клея края БСН начинали активно впитывать клей и в результате размягчались, что привело к снижению их физико-механических свойств. На наш взгляд, это объясняется тем, что ПВА представляет собой водную дисперсию поливинилацетата, сухой остаток данного клея составляет всего 35%. Вследствие чего варьируемый фактор – давление склеивания был принят постоянным для всех экспериментов. По данным предварительных опытов он составил 0,7 кг/см<sup>2</sup> для БСН с ячейками размером 15 мм.

Результаты исследований по определению прочности склеивания сот наполнителя с обшивками щита представлены в табл. 3.

Обработку и достоверность полученных результатов осуществляли методом математической статистики [2].

Таблица 3

#### Определение прочности склеивания сот наполнителя с обшивками щита ПВА

№ опыта	Расход клея, г/м <sup>2</sup>	Среднее значение предела прочности при растяжении перпендикулярно плоскости склеивания БСН с обшивками щита, МПа
1	100	0,015
2	150	0,044
3	200	0,094
4	250	0,146
5	300	0,273
6	350	0,272

Анализ данных, представленных в табл. 3, показывает, что с увеличением расхода клея адгезионная прочность образцов облеченного щита возрастает. В большинстве случаев значение постоянной прочности склеивания достигается при расходе клея ~300–350 г/м<sup>2</sup>.

**Закключение.** Оптимальные режимы склеивания облегченных щитов следующие: расход полиуретанового клея – 140–150 г/м<sup>2</sup>, расход ПВА – 300–310 г/м<sup>2</sup>. Давление склеивания необходимо выбирать из условия обеспечения достаточного усилия прижима в зоне контакта обшивок с сотами наполнителя, но его значение не должно превышать предела прочности при сжатии бумажного сотового наполнителя при его определенных размерах.

#### Литература

- Боровиков, В. П. STATISTICA, искусство анализа данных на компьютере для профессионалов. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
- Пижурин, А. А. Исследования процессов деревообработки. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 231 с.