

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

УДК 625.731

**С. В. Шетько**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой (БГТУ);  
**Е. В. Наливко**, ассистент (БГТУ)

## ПРОЧНОСТЬ И ПЛОТНОСТЬ ОБЛЕГЧЕННЫХ ЩИТОВ С БУМАЖНЫМ СОТОВЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

В статье обобщены результаты исследований и установлено влияние основных технологических и конструктивных факторов на объемную плотность и прочностные показатели облегченных щитов. Приведены данные о технико-экономической эффективности использования щитов с сотовым наполнителем.

In the article summarizes the results of research and found the influence of major technological and structural factors on the density and strength characteristics of lightweight panels. The data on technical and economic efficiency of using of lightweight boards with paper honeycomb.

**Введение.** В последние годы в Беларуси и, особенно, за рубежом для изготовления деталей мебели (полок, боковых стенок стеллажей и шкафов, столешниц и т. д.) получают распространение облегченные щиты с бумажным сотовым наполнителем. Эти щиты состоят из двух основных элементов: лицевых панелей (верхней и нижней) из тонких ХДФ, МДФ, ДВП или ДСтП и среднего слоя – бумажного наполнителя, по форме напоминающего пчелиные соты [1].

Технико-экономические показатели производства облегченных щитов свидетельствуют о его рентабельности. Себестоимость облегченного щита толщиной 40 мм в 4,7 раза меньше себестоимости МДФ при той же толщине, в 1,94 и 1,5 раза меньше щитов из древесностружечных и столярных плит соответственно [2].

Облегченные щиты по структуре и свойствам значительно отличаются от древесных плит и являются сравнительно новым и мало исследованным материалом. Поэтому целью настоящей статьи являлось более глубокое изучение этих материалов, а в дальнейшем разработка на их основе рациональной конструкции мебельных щитов, обеспечивающих высокое качество, надежность и экономичность мебели.

**Основная часть.** Были проведены исследования, в результате которых установлено влияние основных технологических и конструктивных факторов на объемную плотность и прочностные показатели облегченных щитов. Для получения результатов в качестве лицевых панелей были выбраны тонкие древесноволокнистые и древесностружечные плиты (толщина плит от 3 до 8 мм), широко приме-

няемые в Республике Беларусь: ДВП марки ТСН-30 номинальной толщиной 3 мм (РБ); МДФ номинальной толщиной 8 мм (РФ); декорированная ХДФ толщиной 3 мм (Германия) и ДСтП толщиной 8 мм (РФ).

В качестве среднего слоя использовали бумажный сотовый наполнитель (РБ).

При постановке экспериментов с сотовыми наполнителями необходимо учитывать ряд особенностей, определяемых сложной пространственной структурой наполнителя и способами его изготовления.

При изготовлении образца из блока сотового наполнителя нарушается целостность граней сот по плоскостям разрезов. Поскольку расположенные на периферии образца «разрезанные» грани способны нести значительно меньшую нагрузку, чем остальные грани, существенным становится выбор размеров образца и способа его вырезки из блока.

Экспериментами установлено, что для сотового наполнителя с шестигранной формой ячеек сот основными силовыми элементами являются грани двойной толщины. Поэтому вырезку образца необходимо производить таким образом, чтобы не нарушить целостность граней двойной толщины. Способ вырезки образца из сотового блока представлен на рис. 1.

Объемную плотность и прочность облегченных щитов определяют следующие основные параметры: размер ячейки наполнителя; толщина бумаги и ее механические свойства; толщина и материал обшивок; высота сотового наполнителя; прочность самого сотового наполнителя и соединения его с обшивками.

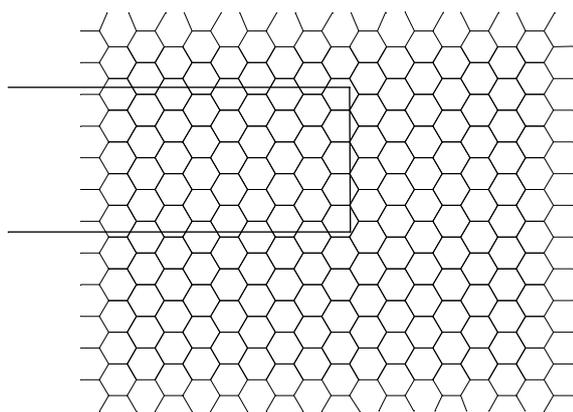


Рис. 1. Способ вырезки образца из сотового блока

Испытания на прочность при поперечном сжатии проводили как отдельно бумажного сотового заполнителя (БСЗ), так и облегченных щитов с заполнителем. Такие испытания позволили оценить напряжения и деформации, возникающие на технологическом этапе соединения заполнителя с несущими слоями. Результаты исследований по определению прочности при поперечном сжатии представлены в табл. 1.

Таблица 1  
Зависимость предела прочности при сжатии от конструктивных параметров облегченного щита

Размер ячейки БСЗ, мм	Высота БСЗ, мм	Условный предел прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ , кг/см <sup>2</sup>		Пределные деформации сжатия $\epsilon_{кр}$ , %	
		БСЗ	облегченного щита	БСЗ	облегченного щита
15	15	1,59	1,83	4,7	4,3
	25	1,43	1,64	2,8	2,5
	35	1,31	1,51	2,0	1,8
25	15	0,85	0,91	5,5	4,9
	25	0,81	0,88	3,1	2,8
	35	0,77	0,82	2,2	2,0
35	15	0,80	0,85	6,4	5,6
	25	0,77	0,83	3,8	3,3
	35	0,73	0,78	2,9	2,5

Сравнение результатов испытаний сотовых блоков и облегченных щитов показало, что значения механических характеристик облегченных щитов с сотовым заполнителем оказались выше. Наличие обшивок повышает прочность при поперечном сжатии в среднем на 10%. Этот факт наглядно иллюстрирует влияние на результаты испытаний технологических

факторов. Очевидно, что на этапе склеивания несущих обшивок с сотовым заполнителем клеевой слой между обшивкой и заполнителем приводит к увеличению жесткости, а следовательно, и устойчивости граней сотовых ячеек.

Установлено также, что изменение высоты сотового заполнителя отражается на пределе прочности при поперечном сжатии. Из табл. 1 видно, что при постоянных размерах стороны шестигранника увеличение высоты заполнителя приводит к уменьшению прочности при поперечном сжатии.

На показатели прочности заполнителя при поперечном сжатии влияет также и его влажность (рис. 2).

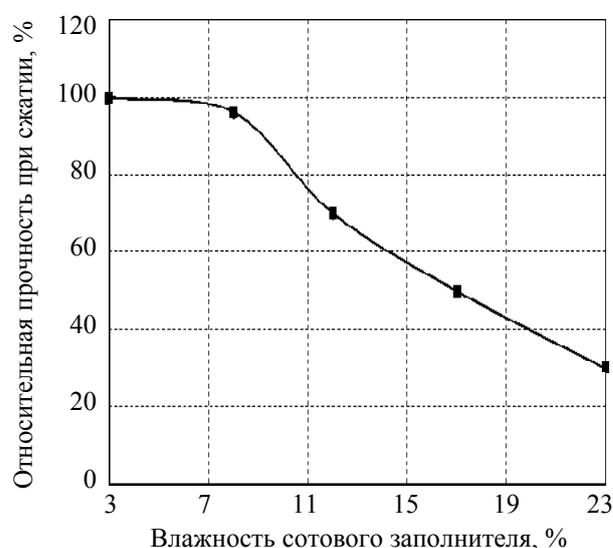


Рис. 2. Влияние влажности сотового заполнителя на прочность при сжатии

Из приведенного рис. 2 видно, что в диапазоне влажности 3–8% изменение относительной прочности при сжатии заполнителя практически не происходит, затем, по мере увеличения влажности до 23%, его прочность снижается в 2,5 раза. При влажности более 8% заполнитель теряет свою прочность и становится более мягким. Причиной тому является не снижение прочности самого волокна, а наличие в зоне межволоконных связей слоев воды, которые ослабляют эти связи. Нарастивание толщины цепочек молекул между активными группами приводит к увеличению расстояния между ними и, как следствие, к снижению прочности взаимосвязи, легкости перемещения групп относительно друг друга. Адсорбированные молекулы воды в структуре работают как смазка и способствуют снижению напряжения при изгибных деформациях. Это очень важное свойство сотового заполнителя, которое может стать проблемой для производителя.

На рис. 3 дана зависимость между объемной плотностью облегченного щита и размером ячеек, высотой сотового заполнителя. Сравнительные объемные плотности облегченных щитов различных конструкций представлены в табл. 2, в которой показано, что с увеличением толщины облегченного щита с бумажным сотовым заполнителем его объемная плотность уменьшается. Наибольшую плотность имеют щиты с обшивками из ДСтП и МДФ толщиной 8 мм.

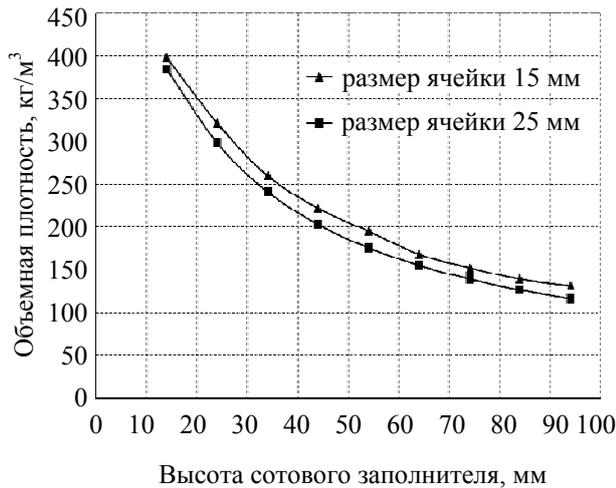


Рис. 3. Зависимость объемной плотности облегченного щита (обшивки из МДФ толщиной 8 мм) от высоты сотового заполнителя (размер ячейки 15 мм)

Из графика видно, что при увеличении размера ячейки объемная масса облегченного щита незначительно уменьшается.

Таблица 2

**Изменение объемной плотности в зависимости от типа и толщины внешних слоев облегченного щита с бумажным сотовым заполнителем**

Толщина облегченного щита	Объемная плотность облегченного щита, кг/м³, с лицевыми обшивками			
	ХДФ: δ = 3 мм, γ = 880 кг/м³	ДВП: δ = 3 мм, γ = 804 кг/м³	ДСтП: δ = 8 мм, γ = 756 кг/м³	МДФ: δ = 8 мм, γ = 750 кг/м³
30	194	166	404	398
40	161	121	325	322
50	122	97	254	249
60	107	81	217	212
70	96	70	201	195
80	88	62	173	168
90	82	55	158	152
100	77	50	143	139
110	71	48	138	131

Также из табл. 2 видно, что плотность облегченных щитов значительно ниже, чем плотность обшивок, и находится в пределах 48–404 кг/м³. В отличие от цельной плиты облегченные щиты обладают чрезвычайной легкостью, поэтому не будут подвержены деформации под тяжестью собственного веса. Малый вес мебельных панелей обеспечит снижение транспортных расходов за счет увеличения объема загрузки, снижения платежей за перевес транспорта, снижения расходов на стоимость доставки или горючее. Вес материалов перестанет играть ограничительную роль при доставке товаров только грузовым транспортом.

В табл. 3 приведены результаты испытания на плоский изгиб и продольный сдвиг образцов щитов с заполнителем.

Таблица 3

**Механические показатели сотовых панелей**

Размер ячейки, мм	Высота заполнителя h <sub>c</sub> , мм	Нормальные напряжения в обшивках σ, МПа	Приведенные напряжения σ <sub>n</sub> , МПа	Жесткость панелей (в пересчете на ширину b = 400) D <sub>x</sub> , Па·м⁴	Предельные деформации сдвига γ <sub>кр</sub> , 10 <sup>-3</sup>
1	2	3	4	5	6
Обшивки – ХДФ δ = 3 мм, γ = 880 кг/м³					
15	15	7,5	23,4	730	28
	25	4,3	18,7	1 745	10
	35	2,8	15,6	3 200	6
25	15	6,3	20,3	705	22
	25	3,4	16,2	1 705	9
	35	2,0	11,8	3 120	4,5
35	15	5,8	19,3	690	20
	25	3,1	14,8	1 675	7
	35	1,9	11,9	3 070	3,9

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6
Обшивки – МДФ $\delta = 8$ мм, $\gamma = 750$ кг/м <sup>3</sup>					
15	15	13,0	23,2	2 240	28
	25	7,5	17,4	4 670	10
	35	4,7	13,1	8 000	6
25	15	9,9	18,0	2 185	22
	25	5,5	13,1	4 550	9
	35	3,5	10,3	7 850	4,5
35	15	8,8	16,0	2 120	20
	25	4,3	10,2	4 530	7
	35	3	8,8	7 830	3,9
Обшивки – ДВП $\delta = 3$ мм, $\gamma = 804$ кг/м <sup>3</sup>					
15	15	7,3	22,1	615	28
	25	4,2	18,3	1 470	10
	35	2,7	14,2	2 700	6
25	15	6,0	18,8	605	22
	25	3,3	15,0	1 400	9
	35	1,9	10,6	2 620	4,5
35	15	5,5	17,7	590	20
	25	3,0	13,6	1 575	7
	35	1,9	11,2	2 605	3,9
Обшивки – ДСтП $\delta = 8$ мм, $\gamma = 756$ кг/м <sup>3</sup>					
15	15	15,0	27,7	3 525	28
	25	8,4	20,0	7 110	10
	35	5,2	14,9	11 980	6
25	15	11,5	21,7	3 475	22
	25	6,2	15,1	7 020	9
	35	3,8	11,5	11 600	4,5
35	15	10,4	19,6	3 450	20
	25	4,8	12,0	6 980	7
	35	3,3	10,0	11 540	3,9

В результате эксперимента на плоский изгиб установлены два основных механизма разрушения панели: потеря устойчивости заполнителя в краевых зонах образца от нормальных и сдвиговых деформаций и межслойный сдвиг между обшивкой и заполнителем. Межслойный сдвиг с расслоением наблюдается в случае недостатка клеевого материала на границе между обшивкой и заполнителем. Во всех случаях испытаний на изгиб с учетом оптимального расхода клея в пределах 330 г/м<sup>2</sup> – для поливинилацетатных клеев, 140 г/м<sup>2</sup> – для полиуретановых клеев-расплавов сдвиг между компонентами не наблюдался, однако при уменьшении расхода поливинилацетатных клеев до 250 г/м<sup>2</sup> и ниже разрушение за счет расслоения преобладает.

Очевидно, что показатели деформативности заполнителя, а именно критические деформации сжатия и сдвига, являются определяющими критериями оценки работоспособности трехслойных панелей в целом, так как обуславливают характер их разрушения и могут быть использованы в конструкторских расчетах при проектировании мебели.

При анализе полученных данных видно, что значения действующих нормальных напряжений  $\sigma$  гораздо ниже допускаемых для материалов самих обшивок [3], следовательно, при изгибе панелей с заполнителем малой жесткости не происходит разрушения материала обшивок.

В качестве критериев для оценки эффективности использования менее прочных трехслойных панелей можно использовать удельные показатели прочности  $\sigma_n$  и жесткости панелей  $D_x$ .

Как видно из табл. 3, удельная прочность с увеличением высоты сотового заполнителя и размера ячейки существенно уменьшается. Использование сотовых конструкций оправдано только как альтернатива тонких ХДФ и ДВП из-за выигрыша по массе. В случае МДФ и ДСтП (толщиной 8 мм) в конструкции в диапазоне исследованных высот заполнителя трехслойные панели менее прочны и их использование для нагруженных изделий нецелесообразно. Однако при тех же факторах в большей степени происходит увеличение жесткости панелей. Так, например, жесткость листа ДСтП толщиной 22 мм,

шириной 400 мм и плотностью 756 кг/м<sup>3</sup> составляет около 2000 Па·м<sup>4</sup>. Такую же жесткость имеют трехслойные панели толщиной 32 мм при плотности в 2,5–3 раза ниже. Определяющим фактором при выборе конфигурации панели в данном случае будут являться назначение и условия эксплуатации.

Также из табл. 3 видно, что устойчивость сот при сдвиге оказывается сравнительно невысокой. Это происходит вследствие низкого модуля упругости бумаги и ввиду значительных несовершенств граней и ребер, образующихся при изготовлении сотового наполнителя. Также деформация сдвига во многом зависит от площади склеивания сотового наполнителя с обшивками, которая, в свою очередь, определяется размерами стороны шестигранника. Деформации при сдвиге растут при уменьшении размера ячейки сот и высоты сотового наполнителя.

В мебели имеется значительное количество вертикальных щитовых элементов, которые воспринимают внешние сжимающие нагрузки. Для таких элементов важным показателем является их прочность и устойчивость при продольном сжатии.

В результате исследований на продольное сжатие выявлено, что размеры ячеек сот наполнителя и его высота оказывают незначительное влияние на критерии прочности. Так, для образцов 300×100×*h* (*h* – толщина облегченного щита) значение критической силы находится в диапазоне 6–7 кН.

**Заключение.** Облегченные щиты с наполнителем менее материалоемки, экономически более эффективны, значительно более легкие, чем сплошные древесные плиты. Использование сотовых конструкций оправдано только с лицевыми обшивками из тонких ХДФ и ДВП (толщина 3–4 мм) как альтернатива толстым ДВП, МДФ, ДСтП из-за выигрыша по массе при одинаковых механических показателях. Определяющими факторами при выборе конфигурации панели должны являться назначение и условия эксплуатации.

Целесообразно расширять область применения щитов с сотовым наполнителем и совершенствовать их технологический процесс.

### Литература

1. Перов, Ю. Ю. Все, что нужно знать мебельщику о сотах / Ю. Ю. Перов, П. В. Мельников // Мебельщик. – 2004. – № 3. – С. 65–67.
2. Шетько, С. В. Экономическая эффективность использования облегченных щитов с бумажным сотовым наполнителем применительно к мебели и столярно-строительным изделиям / С. В. Шетько, Е. В. Наливкин // Энерго- и ресурсосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. – Минск, 2010. – С. 80–83.
3. Волынский, В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.-справ. пособие. – СПб.: Лань, 2010. – 336 с.

*Поступила 14.03.2011*