

А.С. Архипов, Ю.Г. Лапшин, Д.В. Тулузаков

Московский государственный университет леса

Архипов Александр Сергеевич, 1984 года рождения, в 2006 году окончил Московский Государственный Университет леса, аспирант, автор 6 научных работ в области древесных пластиков и композиционных материалов из древесины, E-mail: arhipov@mgul.ac.ru



Лапшин Юрий Геннадьевич, 1938 года рождения, в 1960 окончил Московский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор кафедры сопротивления материалов Московского государственного университета леса, автор более 70 работ в области технологии деревопереработки, E-mail: lapshin@mgul.ac.ru.



Тулузаков Дмитрий Владимирович, 1960 года рождения, в 1982 году окончил Московский лесотехнический институт, кандидат технических наук, заведующий кафедрой сопротивления материалов Московского государственного университета леса, автор свыше 30 научных работ в области древесных пластиков и композиционных материалов из древесины, E-mail: tuluzakov@mgul.ac.ru



ПРОЧНОСТЬ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ В МЕБЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

На основании прочностных расчетов мебельных конструкций и структурно-механического анализа прочности ДСтП, выполненных с помощью метода конечных элементов, а также проведенных экспериментальных исследований получены рекомендации по рациональным параметрам плит для мебельных конструкций и предложена методика оценки прочности и испытания мебельных угловых соединений на стяжках.

Ключевые слова: древесно-стружечные плиты, физико-механические свойства, прочность, напряжения, деформации, мебельные конструкции, структурно-механический анализ.

В 60-80 годы прошлого века наблюдалось быстрое развитие производства древесно-стружечных плит в мире и связанное с этим большое количество научно-исследовательских работ как у нас, так и за рубежом. Однако после 90-х годов количество исследований в России заметно сократилось, а потребление плит возросло. Быстрыми темпами совершенствуются и технология, и оборудование для изготовления ДСтП. Новые требования стандартов заставляют производителей повышать качество ДСтП, при этом увеличивается ассортимент выпускаемых плит с различными физико-механическими и экологическими показателями. Также с момента последних исследований древесно-стружечных плит сильно изменились технические возможности исследований. Появилась возможность проводить исследования на современном высокоточном испытательном оборудовании, выполнять расчеты моделей плит в программных средах проектирования, позволяющих убирать недостатки ранее применяемых упрощенных расчетных моделей.

Для исследования прочности мебельных конструкций были созданы 3D модели некоторых изделий мебельного комбината «Сторосс».

© Архипов А.С., Лапшин Ю.Г., Тулузаков Д.В., 2012

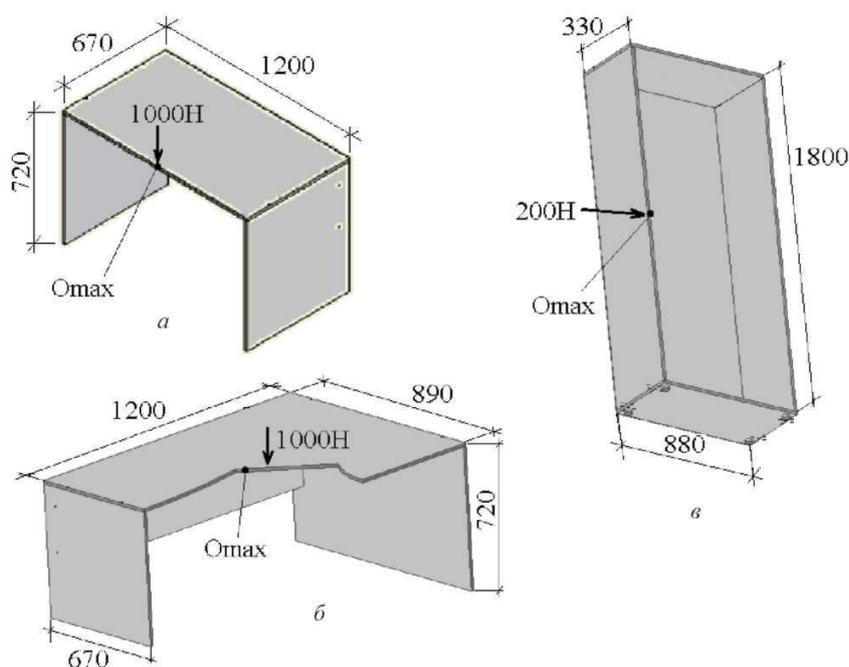


Рис. 1. Расчетные схемы исследуемых конструкций:
 а – письменный стол; б – компьютерный стол; в – бельевой шкаф

Для расчетов были выбраны: письменный стол, компьютерный стол, двухстворчатый бельевой шкаф. На рис. 1 показаны расчетные схемы исследуемых конструкций. Нагрузка в 1000 Н соответствует возможному случаю, когда человек встал на край стола. Боковая нагрузка на шкаф в 200 Н может возникнуть при перемещении бельевого шкафа с одного места на другое.

Расчеты производились методом конечных элементов в программной среде Cosmos Works.

Как показали результаты расчетов, опасные напряжения возникают в точках O_{max} (см. рис. 1). Эти напряжения соответственно равны:

для письменного стола $\sigma = 8$ МПа;

для компьютерного стола (плоское напряженное состояние)

$\sigma_1 = \pm 11$ МПа, $\sigma_2 = \pm 5$ МПа;

для бельевого шкафа $\sigma = 2,5$ МПа.

Оценим прочность плиты компьютерного стола по теории наибольших касательных напряжений без учета анизотропии:

$$\sigma_p = \sigma_1 + \sigma_2 \leq [\sigma], \quad (1)$$

$$\sigma_p = 11 + 5 = 16 \text{ МПа.}$$

По ГОСТ 10632-07 [2] нижняя граница величины σ для плит толщиной 14...20 мм равна 13 МПа. Таким образом для данной конструкции можно рекомендовать плиты толщиной 20 мм при этом $\sigma_p = 10$ МПа, что гарантирует запас прочности более чем в 1,3 раза.

Поскольку при изгибе $\sigma = \frac{|M| \cdot 6}{h^2}$, то зависимость прочности от толщины плиты при одинаковой несущей способности имеет вид, представленный на рис. 2.

Из приведенных данных следует, что при уменьшении толщины плиты менее 20 мм для сохранения ее несущей способности требуется резкое увеличение прочности. Таким образом, наиболее употребляемый для корпусной мебели интервал толщин 14–20 мм [2] рационально нормировать по прочности не одним интервалом, а разбить на два интервала 14...16 мм и 17...20 мм, а прочность более тонких плит увеличить на 20%.

Для структурно-механического анализа ДСтП была использована модель, представленная на рис. 3. Модель была рассчитана на растяжение вдоль и поперек направления древесных частиц.

В результате расчетов представленной модели получены значения напряжений в местах контактов частиц, значения которых приведены на рис. 4.

Из графиков (см. рис. 4) видно, что максимальные напряжения в древесных частицах в 5 раз больше средних, определяемых по стандарту.

Для определения касательных напряжений в месте контакта древесной частицы с клеем был произведен расчет моделей, состоящих из частиц и клеевого слоя (рис. 5) со сплошным и дискретным осмолением при различной жесткости клея.

Из приведенных данных видно, что при двухконтактном и трехконтактном осмолении частиц микронапряжения практически не отличаются от аналогичных показателей при сплошном осмолении частиц, следовательно, на практике следует добиваться дискретного осмоления древесных частиц, что позволит сократить расход связующего, не повлияв на снижение механической прочности. Из эпюр, приведенных на рис. 5, можно сделать вывод, что при уменьшении модуля упругости клея в 2 раза значения касательных напряжений уменьшились в 1,5 раза.

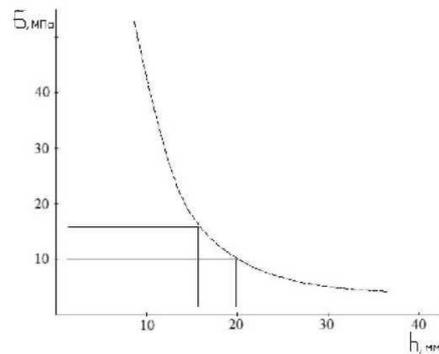


Рис. 2. Зависимости требуемой прочности плит от толщины

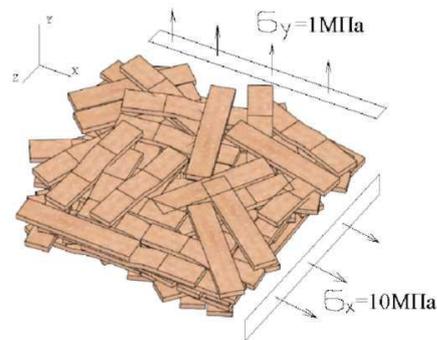


Рис. 3. Структурная схема модели древесностружечной плиты и схема ее нагружения: σ_y – растяжение модели поперек пласти плиты; σ_x – растяжение модели вдоль пласти плиты

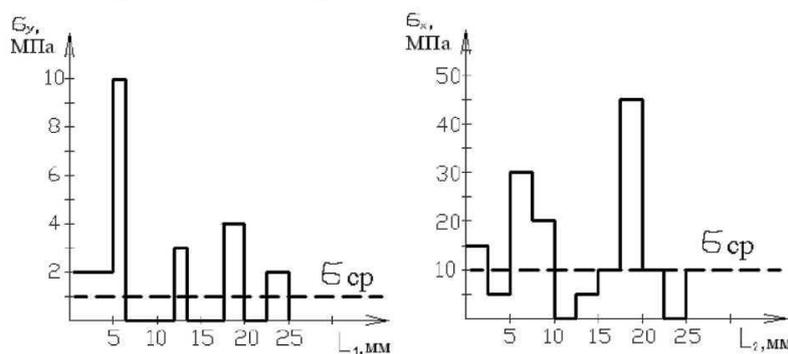


Рис. 4. Эпюры напряжений σ_x и σ_y в среднем сечении

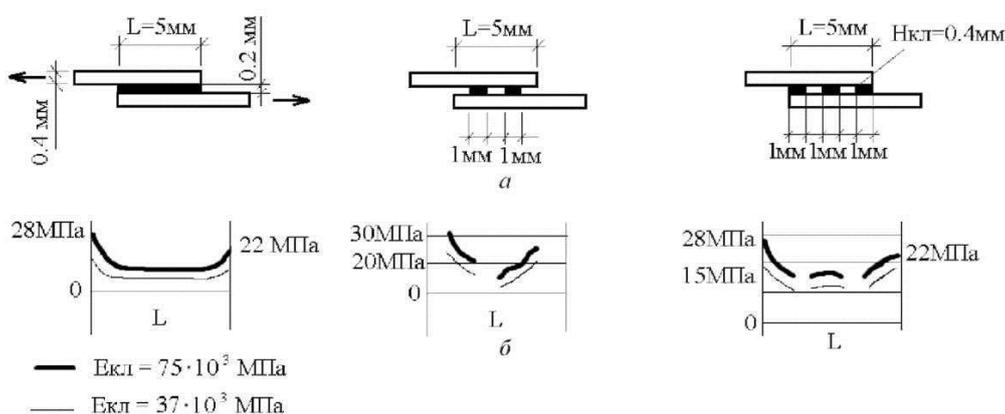


Рис. 5. Схема сплошного и дискретного осмоления частиц (а) и эпюры касательных напряжений при различной жесткости (б)

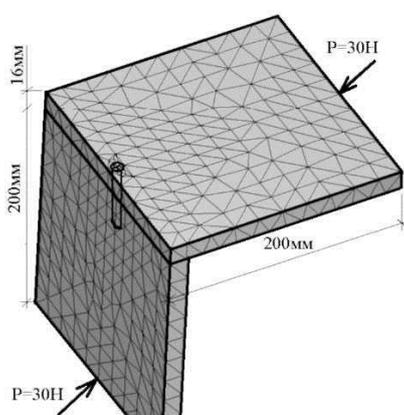


Рис. 6. Схема для испытания и расчета на прочность угловых соединений

На основании результатов расчетов моделей мебельных конструкций, описанных ранее, установлены внутренние силовые факторы, позволяющие исследовать экспериментальную и расчетную модель угловых соединений. Были исследованы современные мебельные угловые соединения на конфирматах (модифицированные шурупы), стяжках с эксцентриком и стяжках с конусным натяжным устройством. На рис. 6 в качестве примера дана расчетная схема модели крепления плит при помощи конфирмата.

По результатам расчетов методом конечных элементов были получены эпюры распределения расчетных напряжений.

Для оценки прочности соединения были взяты значения нормальных напряжений σ_y , σ_z

и касательных напряжений τ_{xy} в месте, где происходит разрушение соединения. Показания снимались в 5 точках сечения разрушения, равномерно распределенных по толщине плиты. На рис. 7, а показаны эпюры напряжений в плоскости разрушения углового соединения конфирматом.

Для оценки прочности был выбран критерий Гольденблатта-Копнова [1]. Этот критерий прочности при плоском напряженном состоянии, характеризуемом компонентами напряжения σ_y , σ_z и τ_{xy} , можно сформулировать так: прочность элемента обеспечена, если удовлетворяется неравенство:

$$\Pi_{11}\sigma_y + \Pi_{22}\sigma_z + \sqrt{\Pi_{1111}\sigma_y^2 + \Pi_{2222}\sigma_z^2 + \Pi_{1122}\sigma_y\sigma_z + 4\Pi_{1212}\tau_{xy}^2} \leq 1,$$

где постоянные Π зависят от прочностных характеристик материала и являются ковариантными по отношению к изменению системы координат. Для использования данного метода необходимо иметь данные по анизотропии прочности. Если показатели прочности древесно-стружечных плит при растяжении, сжатии определить несложно, то определение прочности при чистом сдвиге можно выполнить, используя методику, предложенную В.В. Тулузаковым [3] для исследования чистого сдвига натуральной древесины. В соответствии с этой методикой на кафедре сопротивления материалов МГУЛ было изготовлено приспособление и образцы (рис. 8) для испытаний древесно-стружечных плит при чистом сдвиге.

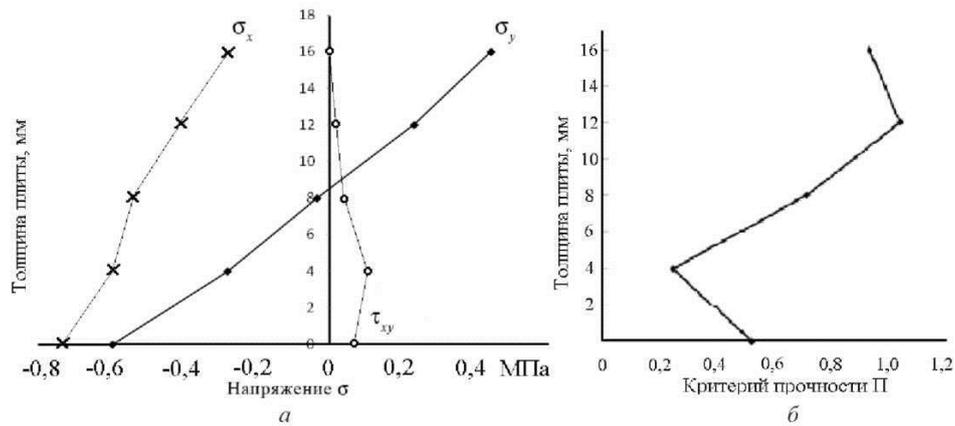


Рис. 7. Эпюра распределения напряжений по толщине плиты в месте разрушения углового соединения конфирматом (а), график распределения значений критерия прочности по толщине плиты (б)

В результате испытаний получены следующие результаты:

- плотность плиты $\rho = 790 \text{ кг/м}^3$;
- плотность наружных слоев $\rho_n = 930 \text{ кг/м}^3$;
- плотность внутренних слоев $\rho_v = 650 \text{ кг/м}^3$;
- прочность при изгибе $\sigma_{и} = 20,4 \text{ МПа}$;
- прочность при изгибе внутреннего слоя $\sigma_{ив} = 8 \text{ МПа}$;
- прочность при растяжении перпендикулярно пласти $\sigma_{p90} = 0,64 \text{ МПа}$;
- прочность при отрыве наружного слоя $\sigma_{отр} = 1,65 \text{ МПа}$;
- прочность при чистом сдвиге внутреннего слоя $\tau_{в45}^+ = 6,2 \text{ МПа}$, $\tau_{в45}^- = 0,64 \text{ МПа}$, $\tau_v = 1,4 \text{ МПа}$.

Прочностные характеристики ортотропного материала должны удовлетворять следующему условию:

$$\left(\frac{1}{\sigma_{в1}^+} - \frac{1}{\sigma_{в1}^-} \right) - \left(\frac{1}{\sigma_{в2}^+} - \frac{1}{\sigma_{в2}^-} \right) = \left(\frac{1}{\tau_{45}^+} - \frac{1}{\tau_{45}^-} \right), \quad (2)$$

где индекс «в» означает внутренние слои плиты, а «+» и «-» растяжение и сжатие соответственно.

Проверим, соответствуют ли полученные экспериментальные данные для среднего слоя этому соотношению:

$$\left(\frac{1}{8} - \frac{1}{15,4} \right) - \left(\frac{1}{0,64} - \frac{1}{6,67} \right) = \left(\frac{1}{6,2} - \frac{1}{0,64} \right),$$

1,35=1,4.

Расхождение менее 5% позволяет заключить, что соотношение (2) выполняется.

Таким образом, для оценки показателей анизотропной прочности по результатам стандартных ($\sigma_{и}$, σ_p , $\sigma_{н.с.}$) испытаний древесностружечной плиты можно пользоваться данными таблицы.

Используя полученные значения расчетных напряжений, а также экспериментально полученные показатели прочности, была произведена оценка прочности

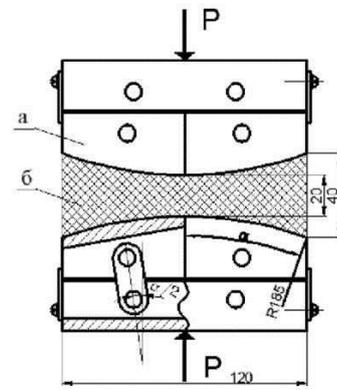


Рис. 8. Образец для испытания на чистый сдвиг: а – нагружающие траверсы; б – образец

Показатели прочности для анизотропных плит ДСтП

Наружный слой	Внутренний слой
$\sigma_n^- = \sigma_n$	$\sigma_{в1}^+ = 12,5\sigma_p$
$\sigma_{из}^- = \sigma_{отр}^- = 0,82\sigma_n$	$\sigma_{из}^- = \sigma_p$
$\sigma_{в2}^- = 20\sigma_{отр}^- = 15,6\sigma_n$	$\sigma_{к2}^- = 10\sigma_p$
$\sigma_{к2}^- = 23\sigma_{отр}^- = 19,6\sigma_n$	$\sigma_{к2}^- = 23\sigma_p$
$\tau_n^- = 2,2\sigma_{отр}^- = 0,2\sigma_n$	$\tau_n^- = 2,2\sigma_p$
$\tau_v^+ = 10\sigma_{отр}^- = 0,82\sigma_n$	$\tau_v^+ = 10\sigma_p$
$\tau_v^- = \sigma_{отр}^- = 0,082\sigma_n$	$\tau_v^- = \sigma_p$

угловых соединений на различных видах стяжек. Значения критерия прочности в зоне разрушения углового соединения на конфирмате приведены на рис. 7, б.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что реальное значение прочности соединений отличается от величины, полученной расчетным путём, незначительно. По-видимому, реальная прочность оказывается несколько выше расчетной из-за того, что в расчетах не учитывались пластические деформации, возникающие при сжатии материала плиты.

Качественная картина напряженного состояния, полученная расчетным путем, соответствует характеру разрушения углового соединения. Несущая способность угловых соединений на конфирматах существенно выше несущей способности соединений на конической и эксцентриковой стяжках.

Проведенный структурно-механический анализ позволил установить зависимость между макро- и микронапряжениями в древесно-стружечных плитах, а также оценить влияние жесткости связующего и его распределения между древесными частицами на прочность плит. Проведены расчеты мебельных конструкций на прочность и получены рекомендации как по оптимальным толщинам, так и по изменению диапазонов толщин и прочности в действующем нормативном стандарте [2]. На основе данных, полученных из результатов расчетов моделей мебельных конструкций, предложена методика расчета угловых соединений на стяжках и их испытаний на прочность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольденблат И.И., Котлов В.А. Критерии прочности анизотропных стеклопластиков. М.: Строительная механика и расчет сооружений. № 5. 1965.
2. ГОСТ 10632-07 Плиты древесностружечные. Технические условия.
3. Тулузаков В.В. Исследование чистого сдвига древесины: дис. М.: МЛТИ, 1969. 156 с.

Поступила 21.02.11

A.S. Arkhipov, Y.G. Lapshin, D.V. Tuluzakov
Moscow State Forestry University

Durability of wood particle board in furniture structural units

Stress-strain properties computations of furniture structural units have been performed. Group structure analysis of wood particle board durability was carried out by the means of the finite element method and experimental work. Efficient parameters of boards to be used in furniture structural units have been derived. New techniques of the boards durability evaluation and furniture drawbar corner joints tests are put forward.

Key words: wood particle boards, physical-mechanical properties, durability, strains, deformations, furniture structural units, structure mechanical analysis.