

ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫЕ ПЛИТЫ КАК КОНСТРУКЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ КОРПУСНОЙ МЕБЕЛИ

Ю.Г. ЛАПШИН, *проф., МГУЛ, д-р техн. наук*⁽¹⁾,
Д.В. ТУЛУЗАКОВ, *доц., МГУЛ, канд. техн. наук*⁽¹⁾,
А.С. АРХИПОВ, *инженер МГУЛ*⁽¹⁾

caf-sopromat@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»
141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я институтская, д. 1, МГУЛ

Древесно-стружечные плиты (ДСтП) – основной конструкционный материал, применяемый для изготовления корпусной мебели. Однако после 90-х годов количество исследований в России заметно сократилось. С тех пор значительно изменился ассортимент мебельных изделий, кроме того, в изделиях стали применять большое количество различного вида стяжек для разборных угловых соединений. Ужесточились требования к токсичности, что привело к снижению физико-механических показателей ДСтП. Поэтому настоящая работа продолжает изучение механики древесно-стружечных плит и рационального использования ДСтП в качестве конструкционного материала для изготовления корпусной мебели. Для анализа напряжений и внутренних усилий в мебельных конструкциях были проведены расчеты трех типовых изделий офисной мебели фирмы «Сторосс» методом конечных элементов в программе Solid Works (Cosmos Works). Из полученных результатов расчетов 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 рационально нормировать не одним интервалом, а разбить на два интервала 14–16 мм и 17–20 мм, а прочность более тонких плит увеличить на 20 %. Для горизонтальных элементов (полок) важным показателем является жесткость, определяемая величиной прогиба на единицу длины. Поэтому далее были определены оптимальные соотношения толщины плиты и ее плотности, расхода связующего при одновременном ограничении токсичности (содержание формальдегида) и выполнении условий прочности (предел прочности при изгибе) или жесткости (модуль упругости при изгибе). Для решения данной задачи многокритериальной оптимизации был использован метод Соболя-Статникова. За целевую функцию F_x принимается стоимость древесины и смолы на 1 м² плиты. В результате расчета на ЭВМ даны рекомендации (оптимальные соотношения параметров – плотности, толщины плиты и расхода связующего) для двух типов плит E1 и E2 и трех расчетных случаев: расчет корпуса из условия прочности; расчет мебельных полок длиной до 1 м на жесткость; расчет стеллажей до 2 м. Таким образом, подтверждается целесообразность увеличения номенклатуры плит с целью экономии сырья и материалов в зависимости от требуемых механических параметров прочности или жесткости. В работе представлены расчеты, которые позволяют оценить влияние размеров древесных частиц, жесткости связующего, а также способа осмоления на показатели прочности ДСтП. С использованием полученных результатов были проведены расчеты прочности угловых соединений для различных видов стяжек, а также экспериментальные исследования прочности соединения на данных стяжках. Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что прочность углового соединения зависит от прочности и плотности соединяемых плит. Качественная картина напряженного состояния, полученная расчетным путем, соответствует характеру разрушения углового соединения.

Ключевые слова: ДСтП, прочность, жесткость, древесные частицы, плотность, связующее, анизотропия, дизайн мебели, критерии прочности

Древесно-стружечные плиты (ДСтП) – основной конструкционный материал, применяемый для изготовления корпусной мебели.

В 60–80-е 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. С тех пор изменился ассортимент мебельных изделий (появились, например шкафы-купе и др.), кроме того, в изделиях стали применять большое количество различного вида стяжек для разборных угловых соединений. Ужесточились

требования к токсичности, что привело к снижению физико-механических показателей ДСтП.

В то же время значительно изменились технические возможности проведения исследований. Разработаны прикладные программы, позволяющие с высокой точностью проводить прочностные расчеты, предприятия-производители и исследовательские лаборатории оснастились современным оборудованием для проведения механических испытаний.

Все это позволяет сделать вывод о необходимости продолжения изучения механики древесно-стружечных плит и рационального использования их в качестве конс-

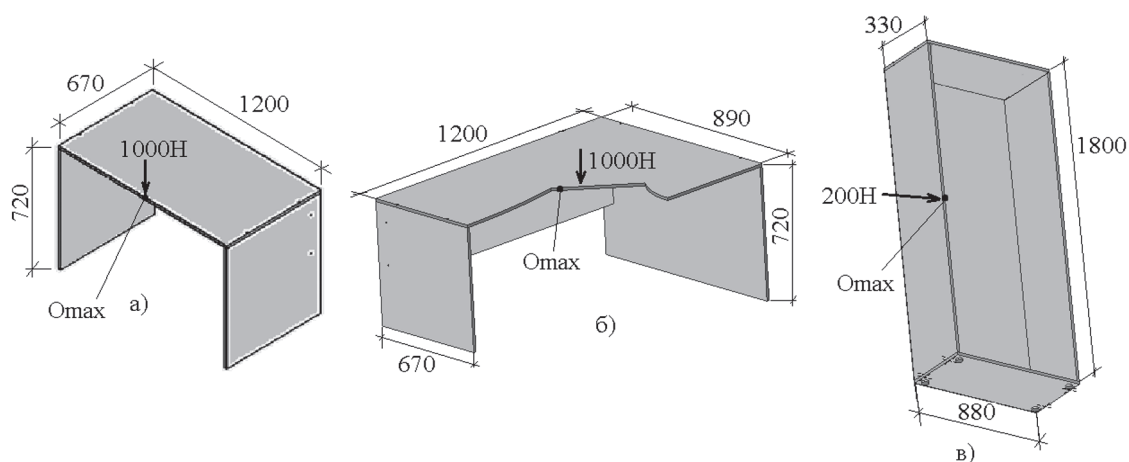


Рис. 1. Расчетные схемы исследуемых конструкций: а – письменный стол; б – компьютерный стол; в – бельевой шкаф

Fig. 1. Payment schemes of the studied structures: a – desk; b – computer desk; c – linen closet

струкционного материала для изготовления корпусной мебели.

В течение ряда лет на кафедре сопротивления материалов (технической механики) МГУЛ были проведены исследования:

- по совершенствованию контроля качества физико-механических свойств ДСтП и установлению их механических характеристик с учетом неоднородности структуры и анизотропии материала;

- по определению расчетными методами (МКЭ) внутренних усилий в типовых конструкциях мебели и внесению предложений по изменению нормирования диапазонов прочности и толщины древесно-стружечных плит;

- проведен структурно-механический анализ и установлена связь между микро- и макронапряжениями в ДСтП, возникающими при их деформировании;

- определены оптимальные расходные параметры сырьевых компонентов для ДСтП в различных элементах конструкций мебели;

- экспериментально и теоретически исследована прочность угловых соединений корпусной мебели из ДСтП с крепежными элементами (стяжками) различных конструкций.

Принимаемая в ГОСТе [1] процедура статистического контроля прочности ДСтП предполагает усреднение этих показателей прочности по плите, а затем по средним показателям получают приемочную постоянную.

Таким образом, искусственно снижается разброс данных для всего объема материала в партии. Это не дает возможности объективно оценить прочность деталей мебельных конструкций, размеры которых существенно меньше размеров плиты, а предложенная методика отбора образцов и статистической обработки результатов на основании ГОСТов [2–8] по статистическому контролю позволяет повысить их достоверность и сократить материальные расходы при проведении контроля качества ДСтП.

Для анализа напряжений и внутренних усилий в мебельных конструкциях были проведены расчеты трех типовых изделий офисной мебели фирмы «Сторосс» методом конечных элементов в программе Solid Works (Cosmos Works) [9, 10]. Для расчетов были выбраны письменный стол, компьютерный стол, двухстворчатый бельевой шкаф. На рис. 1 показаны расчетные схемы исследуемых конструкций.

Наибольшие напряжения возникают в столешнице компьютерного стола и равны 16 МПа. Поскольку при изгибе (на единицу ширины материала) предел прочности при изгибе равен $\sigma = |M| 6/h^2$, то зависимость предела прочности при изгибе и 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 несущей способнос-

ти требуется резкое увеличение прочности. Таким образом, наиболее употребляемый для корпусной мебели интервал толщин 14–20 мм рационально нормировать не одним интервалом, а разбить на два интервала 14–16 мм и 17–20 мм, а прочность более тонких плит увеличить на 20 %.

Для горизонтальных элементов (полок) важным показателем является жесткость, определяемая величиной прогиба на единицу длины. Поэтому далее нами были определены оптимальные соотношения толщины плиты и ее плотности, расхода связующего при одновременном ограничении токсичности (содержание формальдегида), и выполнении условий прочности (предел прочности при изгибе) или жесткости (модуль упругости при изгибе).

Для решения данной задачи многокритериальной оптимизации был использован метод Соболя-Статникова [11, 12]. За целевую функцию F_x принимается стоимость древесины и смолы на 1 м² плиты

$$F_x = h \times p \times (0,2 + 0,01 \times p) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Токсичность при условии соблюдения всех технологических параметров зависит от количества связующего. Эта зависимость может быть представлена согласно С.П. Тришину [13] в виде

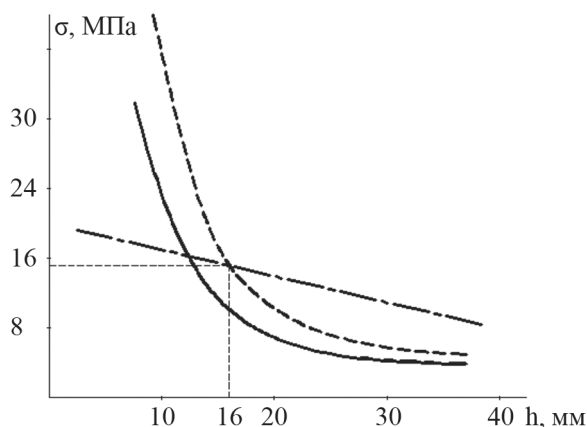


Рис. 2. График зависимости требуемой прочности древесно-стружечных плит от толщины при изгибе: — расчетные значения прочности; - - с учетом запаса прочности $k = 1,5$; - · - · требования ГОСТ

Fig. 2. A graph of the required strength of wood chipboard thickness at a bend: — calculated values of strength; - - taking into account the safety factor $k = 1,5$; - · - · the requirements of GOST

$$T = 1,5 \times p - 2. \quad (2)$$

Отсюда следуют ограничения на расход связующего для плит класса токсичности E1 ($p < 8$) и для плит класса E2 ($p < 28$).

Поэтому в качестве одного из варьируемых параметров был принят расход связующего p . В качестве остальных параметров решаемой задачи принимались толщина заготовки h и плотность ρ . Параметрические ограничения для плит класса E1 выглядели следующим образом

$$600 \leq \rho \leq 800 \text{ (кг/м}^3\text{)}, 5 \leq p \leq 7,5 \text{ (\%)}, \\ 1 \leq h \leq 3 \text{ (см)}. \quad (3)$$

Зависимость прочности (предел прочности при изгибе) и жесткости (модуль упругости при изгибе) плит в зависимости от расхода связующего аппроксимируем зависимостями [14]

$$\sigma = 0,2 \times \rho + 10 \times p - 80, \quad (4)$$

$$E = 20 \times \rho + 3000 \times p - 20000. \quad (5)$$

Используя известные формулы сопротивления материалов, можем получить критерий прочности для плит, предназначенных для изготовления корпусных изделий и для полок пролетом до 1 м

$$F_1 = h^2 - \frac{6 \times |M|}{0,2 \times \rho + 10 \times p - 80} \rightarrow \min, \quad (6)$$

$$F_2 = h^2 - \frac{9 \times |M|}{0,2 \times \rho + 10 \times p - 80} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Критериальные ограничения $F_1^* = 0$, $F_2^* = 0$.

Критерий по жесткости выглядит как $F_2 = (20 \times \rho + 3000 \times p - 20000) \times h^3 \leq 4 \times 10^4$. (8)

С учетом запаса прочности, увеличенного в 1,5 раза, уравнение выглядит следующим образом

$$F_2 = (20 \times \rho + 3000 \times p - 20000) \times h^3 \leq 6 \times 10^4. \quad (9)$$

В формулах 1–9 используются значения:

T – содержание формальдегида мг/100 г плиты;

p – содержание связующего в % к массе абсолютно сухой стружки;

ρ – плотность, кг/м³;

h – толщина плиты, см;

σ – предел прочности при изгибе, кг/см²;

E – модуль упругости при изгибе, кг/см²

Результаты расчетов плит с токсичностью E1 и E2
The calculation results with toxicity plates E1 and E2

Параметры	Плита E1			Плита E2		
	Корпус, из учета прочности на изгиб	Полки, из учета их жесткости (до 1 м)	Стеллажи, из учета их жесткости (до 2 м)	Корпус, из учета прочности на изгиб	Полки, из учета их жесткости (до 1 м)	Стеллажи, из учета их жесткости (до 2 м)
ρ , кг/м ³	680	740	700	660	700	635
p , %	7,4	7	7,8	10	9	9
h , см	1,5	2,2	2,3	1,2	1,8	2,1

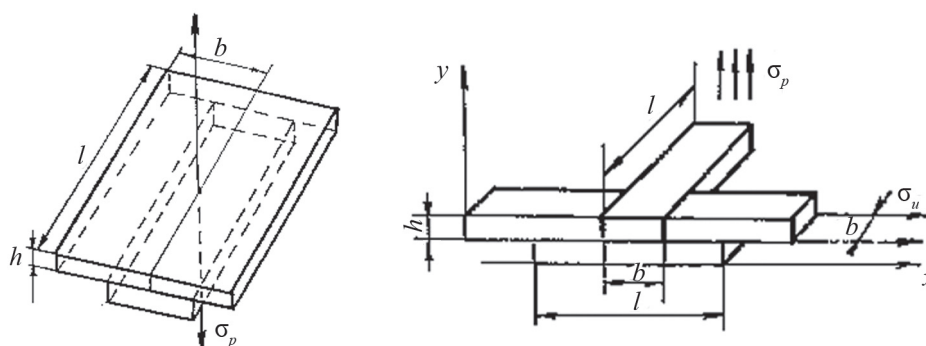


Рис. 3. Простейшие структурные модели
Fig. 3. Simple structural models

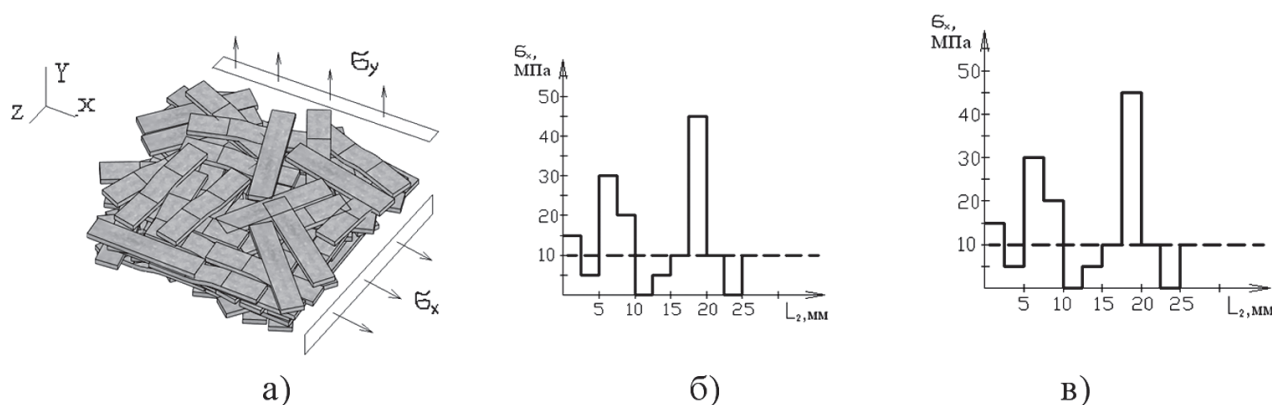


Рис. 4. а) структурная модель ДСП; б) эпюра нормальных напряжений σ_y поперек пласти; в) эпюра нормальных напряжений σ_x параллельно пласти
Fig. 4. a) The structural model of a particle board; b) a diagram of normal stresses σ_y across the layer; c) diagram of normal stresses σ_x parallel plates

В результате расчета на ЭВМ для двух типов плит E1 и E2 и трех расчетных случаев: расчет корпуса из условия прочности; расчет мебельных полок длиной до 1 м на жесткость; расчет стеллажей до 2 м – получены следующие результаты (табл. 1).

Таким образом, целесообразно увеличить номенклатуру плит с целью экономии сырья и материалов в зависимости от требуемых механических параметров прочности или жесткости.

Ранее [14, 15] для анализа прочности ДСП использовали упрощенные структурные модели (рис. 3 а, б). Благодаря методу конечных элементов стало возможным проводить анализ трехмерной модели и в качестве результатов расчетов получать значения микронапряжений, распределенных по длине плиты (рис. 4).

Проведенные расчеты позволяют оценить влияние размеров древесных частиц, жесткости связующего, а также способа осмоления на показатели прочности ДСП.

Показатели прочности для анизотропных плит ДСТП
Indicators of the strength for anisotropic chipboard

Наружный слой	Внутренний слой
$\sigma_{1н}^+ = \sigma_{и}$	$\sigma_{1в}^+ = 12,5\sigma_p$
$\sigma_{2н}^+ = \sigma_{отр} = 0,081\sigma_{и}$	$\sigma_{2в}^+ = \sigma_p$
$\sigma_{1н}^- = 20\sigma_{отр} = 15,6\sigma_{и}$	$\sigma_{1в}^- = 10\sigma_p$
$\sigma_{2н}^- = 23\sigma_{отр} = 19,6\sigma_{и}$	$\sigma_{2в}^- = 23\sigma_p$
$\tau_{н}^0 = 2,2\sigma_{отр} = 0,2\sigma_{и}$	$\tau_{в}^0 = 2,2\sigma_p$
$\tau_{н45}^+ = 10\sigma_{отр} = 0,81\sigma_{и}$	$\tau_{в45}^+ = 10\sigma_p$
$\tau_{н45}^- = \sigma_{отр} = 0,081\sigma_{и}$	$\tau_{в45}^- = \sigma_p$

Примечания: σ , τ – нормальные и касательные напряжения; «+», «-» – растяжение, сжатие; «в, н» – внутренний, наружный слой; «и, р, отр» – изгиб, растяжение, отрыв наружного слоя; «1, 2, 45» – направление к главным осям анизотропии

Результаты испытаний угловых соединений
Test results of corner joints

№ образца	№ опыта, разрушающее усилие (кг)					
	I	II	III	IV	V	VI
Показатель точности	2,79	4,41	4,57	3,99	4,86	4,03
I – соединение конфирматом ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$, $\sigma_{и} = 17,8 \text{ МПа}$); II – соединение конфирматом ($\rho = 760 \text{ кг/м}^3$, $\sigma_{и} = 19,2 \text{ МПа}$); III – соединение стяжкой с упругим элементом ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$); IV – соединение стяжкой с упругим элементом и шкантом ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$); V – соединение эксцентриковой стяжкой ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$); VI – соединение двумя шкантами без стяжки ($\rho = 700 \text{ кг/м}^3$)						

Поскольку плита является ортотропным и неоднородным по толщине материалом, стандартные испытания не дают достаточной информации для проведения расчетов прочности угловых соединений корпусной мебели на стяжках. Для этого необходимо знать значения прочности в главных направлениях анизотропии, а также показатели прочности при сдвиге под углом 45° к главным осям в наружном и среднем слоях плиты. Для определения прочности при чистом сдвиге была использована методика В.В. Тулузакова [16], было изготовлено приспособление для испытаний на чистый сдвиг (рис. 5) и выполнены экспериментальные исследования искомых величин прочности плит.

Были проведены стандартные и нестандартные испытания для определения показателей прочности для наружного и внутреннего слоев ДСТП.

Используя полученные результаты, провели расчеты прочности угловых соеди-

нений для различных видов стяжек, а также экспериментальные исследования прочности соединения на данных стяжках.

Расчет на прочность проводился с использованием критерия Гольденблатта-Капнова [17]

$$\Pi_{11}\sigma_y + \Pi_{22}\sigma_z + \sqrt{\Pi_{1111}\sigma_y^2 + \Pi_{2222}\sigma_z^2 + \Pi_{1122}\sigma_y\sigma_z + 4\Pi_{1212}\tau_{xy}^2} \leq 1, \quad (10)$$

где постоянные Π_{ij} , Π_{ijmn} зависят от прочностных характеристик материала и являются ковариантными по отношению к изменению системы координат. Коэффициенты вычисляются по формулам

$$\Pi_{11} = \frac{1}{\sigma_{\epsilon 1}^+} - \frac{1}{\sigma_{\epsilon 1}^-}; \quad \Pi_{22} = \frac{1}{\sigma_{\epsilon 2}^+} - \frac{1}{\sigma_{\epsilon 2}^-};$$

$$\Pi_{1111} = \left(\frac{1}{\sigma_{\epsilon 1}^+} + \frac{1}{\sigma_{\epsilon 1}^-} \right)^2; \quad \Pi_{2222} = \left(\frac{1}{\sigma_{\epsilon 2}^+} + \frac{1}{\sigma_{\epsilon 2}^-} \right)^2;$$

$$\Pi_{1122} = \Pi_{1111} + \Pi_{2222} - \left(\frac{1}{\tau_{\epsilon 45}^+} + \frac{1}{\tau_{\epsilon 45}^-} \right)^2; \quad \Pi_{1212} = \frac{1}{4\tau_{\epsilon 40}^2}.$$

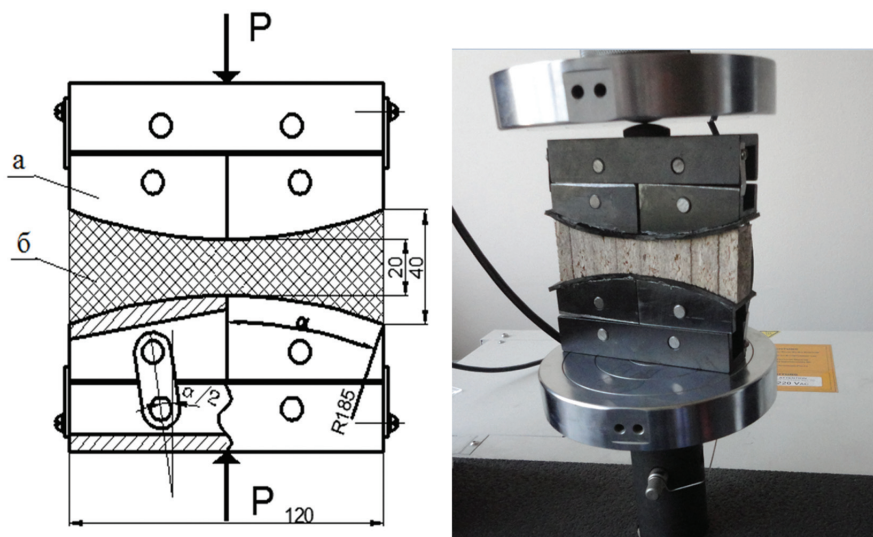


Рис. 5. а) схема приспособления испытаний на сдвиг; б) фото образца испытаний на чистый сдвиг
Fig. 5. a) The circuit device for a shear test; b) testing the sample photo at pure shear

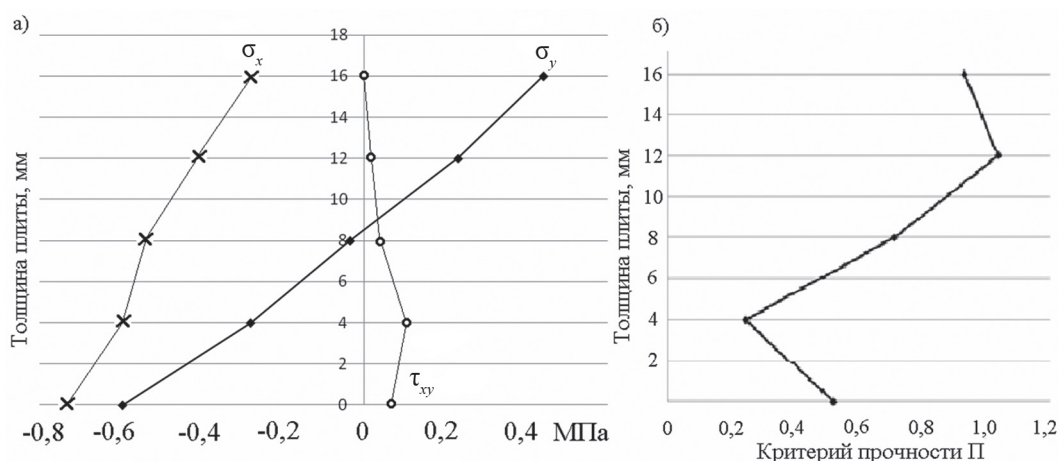


Рис. 6. Эпюра распределение напряжений по толщине в месте разрушения углового соединения конфирматом (а), график распределения значений критерия прочности по толщине плиты (б)
Fig. 6. The diagram of stress distribution across the thickness at the site of fracture angular Confirmites compound (a), a graph of strength criterion of value distribution of plate thickness (b)



Рис. 7. Образец, закрепленный в испытательной машине, и характер разрушения углового соединения
Fig. 7. The sample was mounted in the testing machine, and the nature of the destruction of the angular connection

На рис. 6 показаны эпюры напряжений в плоскости разрушения углового соединения конфирматом.

Моменты проведения экспериментальных испытаний угловых соединений отображены на рис. 7. Результаты испытаний представлены в табл. 3.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных показывает, что прочность углового соединения зависит от прочности и плотности соединяемых плит. Качественная картина напряженного состояния, полученная расчетным путем, соответствует характеру разрушения углового соединения. Шкант диаметром 8 мм увеличивает несущую способность углового соединения на величину момента, равную 15 кГ·см. Несущая способность угловых соединений на конфирматах существенно выше несущей способности соединений на конической и эксцентриковой стяжках.

Библиографический список

- ГОСТ 10632-14 Плиты древесно-стружечные.
- ГОСТ 10633 Плиты древесно-стружечные. Общие правила подготовки и проведения физико-механических испытаний.
- ГОСТ 10635 Плиты древесно-стружечные. Методы определения предела прочности и модуля упругости при изгибе.
- ГОСТ 18321 Статический контроль качества. Методы случайного отбора выборок штучной продукции.
- ГОСТ Р 50779.30 Статические методы. Приемочный контроль качества. Общие требования.
- ГОСТ Р 50779.50 Статические методы. Приемочный контроль качества по количественному признаку. Общие требования.
- ГОСТ Р 50779.53 Статические методы. Приемочный контроль качества по количественному признаку для нормального распределения. Часть 1. Стандартное отклонение известно.
- ГОСТ Р 50779.21 Статические методы. Правила определения и методы расчета статистических характеристик по выборочным данным. Часть 1. Нормальное распределение.
- Агапов, В.П. Метод конечных элементов в статике, динамике и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций / В.П. Агапов. – М.: АСВ, 2000. – 152 с.
- Присекин, В.Л. Основы метода конечных элементов в механике деформируемых тел / В.Л. Присекин, Г.И. Расторгуев. – НГТУ, 2010. – 238 с.
- Соболь, И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями / И.М. Соболь, Р.Е. Статников. – М.: Наука, 1981. – 110 с.
- Шимкович, Д.Г. Основы оптимального проектирования элементов конструкций лесных машин: учебное пособие / Д.Г. Шимкович. – М.: МГУЛ, 1990. – 68 с.
- Тришин, С.П. Технология древесных плит / С.П. Тришин. – М.: МГУЛ, 2007. – 187 с.
- Поташов, О.Е. Механика древесных плит / О.Е. Поташов, Ю.Г. Лапшин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 112 с.
- Гамов, В.В. Экспериментально-теоретическое исследование структурно-механического упрочнения древесно-стружечных плит: автореферат дис. ... канд. техн. наук / В.В. Гамов. – М., 1968. – 26 с.
- Тулузаков, В.В. Исследование чистого сдвига древесин: дисс. ... канд. техн. наук / В.В. Тулузаков. – М., 1969.
- Гольденблат, И.И. Критерии прочности анизотропных стеклопластиков / И.И. Гольденблат, В.А. Копнов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1965. – № 5.

WOOD AND SHAVING BOARDS AS THE CONSTRUCTION MATERIAL FOR OFFICE FURNITURE

Lapshin Yu.G., Prof., MSFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Tuluzakov D.V., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Arkhipov A.S. pg. MSFU⁽¹⁾

caf-sopromat@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Moscow State Forest University (MSFU), 1st Institutskaya street, 1, 141005, Mytischki, Moscow region, Russia

Wood and shaving boards (WSB) is the main engineering material used for the construction of office furniture. However, after 90th the number of WSB researches was seriously decreased. Nowadays the furniture assortment has changed. Further, various clamps are now used in furniture for corner dismountable joints. Modern requirements for toxicological characteristics became more strict and that caused the WSB physical and mechanical indicators decrease. This article continues the study of WSB mechanics and rational use as the material for cabinetry engineering. Three typical office furniture products of Stoross company were used for internal forces and stresses calculations using a finite elements method worked out in Solid Works (Cosmos Works) software. If WSB thickness is less than 20 sm strength sharp increase is needed for its bearing capacity maintenance. Therefore, 14-20 sm thickness interval normally used for cabinetry design should be used not at once but to be split in to two of 14-16 and 17-20 sm together with increase of WSB strength up to 20 %. One of the main characteristics for horizontal elements (shelves) is stiffness determined as deflection to length ratio. Optimal balance of WPB thickness and density together with binder (formaldehyde) flow rate and toxicity restriction, strength (bending strength) and stiffness (flex modulus) conditions fulfillment were determined. Sobol-Statnikov approach was used for multicriteria optimization task solution. The cost of timber and resin to 1 sq.m ratio was taken as objective function. Due to computing results some recommendations (such as optimal density, WSB thickness and binder (formaldehyde) flow rate) for board types E1 and E2

were given for three controlling cases: body calculation by strength condition; furniture 1 m shelves calculation by rigidity condition; 2 m rack calculation. This proves the WSB nomenclature should be widened for raw and consumable materials saving depending on strength and stiffness parameters. Calculation results which show the influence of timber particles size, binder stiffness and gumming technology to WSB strength are presented in the article. Using these results, we had tested the corner joints strength for different types of clamps together with clamp joint efficiency examination. Comparison shows that corner joints strength depends on strength and density of WSB connected. Estimated stress condition matches the corner joints destruction character.

Keywords: chipboard, strength, stiffness, wood particles, the density, the binder, anisotropy, furniture design, strength criteria

References

1. GOST 10632-14 *Plity drevesno-struzhechnye* [Flake].
2. GOST 10633 *Plity drevesno-struzhechnye. Obshchie pravila podgotovki i provedeniya fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy* [Flake. General rules for the preparation and conduct of physical and mechanical tests].
3. GOST 10635 *Plity drevesno-struzhechnye. Metody opredeleniya predela prochnosti i modulya uprugosti pri izgibe* [Flake. Methods for determination of tensile strength and flexural modulus].
4. GOST 18321 *Staticheskii kontrol' kachestva. Metody sluchaynogo otbora vyborok shtuchnoy produktsii* [Static quality control. Randomly selected samples of boxed products].
5. GOST R 50779.30 *Staticheskie metody. Priemochnyy kontrol' kachestva. Obshchie trebovaniya* [Static methods. Acceptance quality control. General Requirements].
6. GOST R 50779.50 *Staticheskie metody. Priemochnyy kontrol' kachestva po kolichestvennomu priznaku. Obshchie trebovaniya* [Static methods. Acceptance inspection of quality by quantity. General Requirements].
7. GOST R 50779.53 *Staticheskie metody. Priemochnyy kontrol' kachestva po kolichestvennomu priznaku dlya normal'nogo raspredeleniya. Standartnoe otklonenie izvestno* [Static methods. Acceptance inspection of quality by quantity to the normal distribution. Part 1. The standard deviation is known].
8. GOST R 50779.21 *Staticheskie metody. Pravila opredeleniya i metody rascheta staticheskikh kharakteristik po vyborochnym dannym. Normal'noe raspredelenie* [Static methods. Terms of definitions and methods of calculation of static characteristics for the sample data. Part 1. Normal distribution].
9. Agapov V.P. *Metod konechnykh elementov v statike, dinamike i ustoychivosti prostranstvennykh tonkostennykh podkreplennykh konstruksiy* [The Finite Element Method in statics, dynamics and spatial stability of thin-walled reinforced constructions]. Moscow: ASV, 2000. 152 p.
10. Prisekin V.L., Rastorguev G.I. *Osnovy metoda konechnykh elementov v mekhanike deformiruemyykh tel* [Fundamentals of the finite element method in mechanics of deformable bodies]. NGTU, 2010. 238 p.
11. Sobol', I.M., Statnikov R.E. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami* [The choice of optimal parameters in problems with many criteria]. Moscow: Nauka, 1981. 110 p.
12. Shinkovich D.G. *Osnovy optimal'nogo proektirovaniya elementov konstruksiy lesnykh mashin: uchebnoe posobie* [Fundamentals of optimal design of structural elements of forest machines]. Moscow: MGUL, 1990. 68 p.
13. Trishin S.P. *Tekhnologiya drevesnykh plit* [Technology wood stoves]. Moscow: MGUL, 2007. 187 p.
14. Potashov O.E., Lapshin Yu.G. *Mekhanika drevesnykh plit* [Mechanics of wood-based panels]. Moscow: Lesnaya prom-st', 1982. 112 p.
15. Gamov V.V. *Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie strukturno-mekhanicheskogo uprochneniya drevesno-struzhechnykh plit*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Experimental and theoretical investigation of the structural and mechanical strength chipboard]. Moscow, 1968. 26 p.
16. Tuluzakov V.V. *Issledovanie chistogo sdviga drevesin*: diss. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of pure shear Woods']. Moscow, 1969.
17. Gol'denblat I.I., Kopnov V.A. *Kriterii prochnosti anizotropnykh stekloplastikov* [Strength criteria anisotropic GRP]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 1965. № 5.