

3. Система технологий и машин для комплексной механизации лесного хозяйства в условиях рыночных отношений на 2001–2005 годы: проект. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2001. – 133 с.
4. Писарьков Х.А., Тимофеев А.Ф. Гидротехнические мелиорации лесных земель. – М.: Лесн. пром-сть. 1964. – 276 с.
5. Special utrustadeqrävmaskinerfördikesrensning. – URL: <http://www.rensadiken.se>.
6. Добрынин Ю.А., Дмитриев А.В. Направления развития конструкций однофрезерных каналокопателей для строительства каналов лесосошительной сети // Мелиорация, ведение лесного хозяйства и лесопользование: мат-лы Всерос. симп. (Санкт-Петербург, г. Кировск, пос. Лисино-Корпус, 5–7 июля 2006 г.). – СПб.: ФГУ «СПбНИИЛХ», 2006. – С. 284–299.
7. Винокуров В.Н., Еремин Н.Е. Система машин в лесном хозяйстве: учеб. для вузов / под ред. В.Н. Винокурова. – М.: Академия, 2004. – 320 с.



УДК 674.815-41.05

С.М. Плотников, Ю.В. Захаров

### АСИММЕТРИЧНЫЕ ДРЕВЕСНЫЕ ПЛИТЫ

*Рассмотрены возможности экономии связующего в древесных плитах за счет выравнивания прочности на сжатие и растяжение соответственно верхнего и нижнего слоев.*

**Ключевые слова:** *древесная плита, связующее, предел прочности, покоробленность.*

S.M. Plotnikov, Yu.V. Zakharov

### ASYMMETRICAL WOOD BOARDS

*The possibilities of saving the binding agent in wood boards by smoothing the solidity on the pressing and stretching of the upper and lower layers respectively are considered in the article.*

**Key words:** *wood board, binding agent, solidity limit, warping.*

---

**Введение.** До 30 % древесных плит (древесностружечных, MDF, OSB и др.) в строительных конструкциях и в элементах мебели постоянно находятся в горизонтальном положении (в книжных полках – более 80%). Большинство таких плит являются несущими, т.е. постоянно подвергаются изгибающей нагрузке, при которой верхняя половина плиты работает на сжатие, а нижняя – на растяжение вдоль пласти. Предел прочности на растяжение (сжатие) показывает максимальную силу, которую выдерживает постепенно растягиваемый (сжимаемый) образец до момента его разрыва по отношению к 1 см<sup>2</sup> его поперечного сечения.

Установленные Б.Н. Кауфманом [1] значения предела прочности древесной плиты на сжатие и растяжение параллельно пласти в зависимости от плотности плиты представлены на рисунке 1.

Характер зависимостей рисунка 1 дает основание утверждать, что соответствие между прочностью на растяжение и сжатие плиты вдоль пласти и ее плотностью ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) можно выразить линейными уравнениями:

$$\sigma_{\text{р||}} = 0,03\rho - 8, \quad \sigma_{\text{сж||}} = 0,04\rho - 7.$$

Разрушение образца при изгибе происходит в момент, когда напряжения в растянутой зоне уже достигли предела прочности, а в сжатой зоне они остаются намного ниже предельной величины. Модуль упругости на растяжение и сжатие вдоль волокон образующих древесную плиту частиц приблизительно одинаков для различных пород древесины. При этом следует учитывать, что разрушение плиты происходит не только по древесине стружки, но и по клеевому шву. У отвердевшего связующего модуль упругости на сжатие превышает модуль на растяжение.

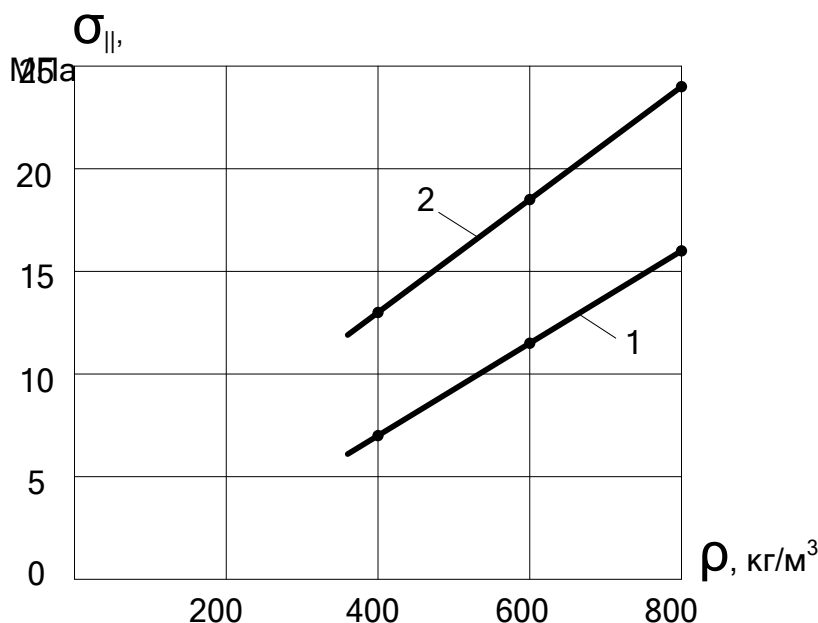


Рис. 1. Усредненные зависимости предела прочности плиты из сосновой стружки с 15-процентным содержанием связующего от ее плотности: 1 – на растяжение вдоль пласти; 2 – на сжатие вдоль пласти

В [2] показано, что предел прочности древесной плиты на сжатие параллельно пласти в 1,5...1,7 раза превышает предел прочности на растяжение при прочих равных условиях. Приблизительно такое же соотношение данных пределов получено при исследовании ползучести древесных плит в [1], где установлено, что длительный предел прочности при сжатии составляет 0,4...0,6, а при растяжении – 0,3...0,4 от величины разрушающей нагрузки. Исследования прочности древесных плит на сжатие и растяжение параллельно пласти проводились также в [3]. Переменными параметрами здесь были плотность плиты, содержание связующего и геометрия стружки. При этом предел прочности на сжатие составлял 12...16 МПа, на растяжение – 6...9 МПа, а отношение данных величин  $\delta$  лежало в пределах 1,6...1,8. С учетом имеющихся данных, для дальнейших расчетов допускаем, что в среднем  $\delta = 1,6$ .

Известно, что прочность определяется не средней, а наименьшей величиной сопротивления материала, т.е. прочностью наиболее слабого звена [4]. Так как при прочих равных условиях предел прочности древесной плиты на сжатие превышает предел прочности на растяжение параллельно пласти, то в условиях изгибающей нагрузки излом однородной плиты всегда начинается на нижней стороне, испытывающей растяжение, в то время как верхняя часть плиты имеет как бы завышенную прочность. Очевидно, для максимальной прочности на изгиб плита должна быть равнопрочной конструкцией относительно изгибающей нагрузки. Делая обе стороны плиты (верхнюю и нижнюю относительно центральной горизонтальной плоскости) равнопрочными, возможно либо экономить связующее в верхних слоях плиты, либо использовать в них низкокачественное сырье. Плита при этом будет иметь несимметричную по толщине конструкцию, т.е. несимметричный профиль: например, в верхнем наружном слое будет меньше связующего, чем в нижнем. Это является одной из внутренних причин покоробленности готовой плиты. Устранение данного дефекта достигается так называемыми «активными» способами [5].

Рассмотрим теоретические предпосылки экономии связующего при условии равной прочности верхней и нижней сторон плиты.

Прочность плиты на сжатие и растяжение параллельно пласти возрастает линейно с увеличением количества связующего в плите. Данную зависимость можно представить в виде линейного уравнения

$$\sigma_p = a \cdot \rho_{св} , \quad (1)$$

где  $\sigma_p$  – предел прочности на растяжение параллельно пласти, МПа;  
 $a$  – коэффициент пропорциональности, значение которого приближенно составляет 0,75 МПа / %;  
 $\rho_{св}$  – содержание связующего по сухому остатку, в % к массе абсолютно сухой стружки.

Считая, что предел прочности плиты на сжатие параллельно пласти  $\sigma_{сж}$  в  $\delta$  раз превышает предел прочности на растяжение, получим

$$\sigma_{сж} = \delta \cdot \sigma_p = a \cdot \delta \cdot \rho_{св} . \quad (2)$$

Для равной прочности верхних и нижних наружных слоев плиты при действии на нее изгибающей нагрузки должно выполняться условие

$$\sigma_p = \sigma_{сж} . \quad (3)$$

Данное условие выполняется, если величину  $\sigma_{сж}$  уменьшить за счет снижения количества связующего  $\rho_{св}$  в работающем на сжатие слое на некоторую величину  $\Delta\rho_{св}$ . Тогда условие (3) равной прочности наружных слоев плиты с учетом (1) и (2) имеет вид

$$a \cdot \rho_{св} = a \cdot \delta (\rho_{св} - \Delta\rho_{св}), \text{ откуда } \Delta\rho_{св} = \left(1 - \frac{1}{\delta}\right) \rho_{св} . \quad (4)$$

где  $\Delta\rho_{св}$  – экономия связующего в слое, работающем на сжатие, %;

$$\delta = \frac{\sigma_{сжс}}{\sigma_p} - \text{отношение пределов прочности плиты при сжатии и растяжении.}$$

Таким образом, коэффициент  $a$ , связывающий предел прочности и содержание связующего в плите, не влияет на условие равной прочности слоев.

Например, при среднем значении  $\delta = \frac{\sigma_{сжс}}{\sigma_p} = 1,6$  и содержании связующего в одном из слоев

14 % из (4) получим  $\Delta\rho_{св} = 5,25$  %. Таким образом, для выполнения условия (3) противоположный наружный слой должен содержать 8,75 % связующего.

Иллюстрация данного примера представлена на рисунке 2. Здесь значения  $\sigma_{сж}(\rho_{св})$  и  $\sigma_p(\rho_{св})$  взяты из [3].

Количество связующего, которое возможно уменьшить в верхнем слое без потери прочности плиты при ее правильном положении, т.е. когда более прочный слой находится внизу, составляет 29...37 %. Для трехслойных плит с долей наружных слоев 40 % от массы плиты (соотношение слоев 1:3:1) общая экономия связующего составляет 6...8 %. Приблизительно на столько же сокращается выделение формальдегида из таких плит, а стоимость продукции снижается на 3...4 %, так как стоимость связующего составляет до половины от стоимости изделий. Экономия связующего будет более значительной с увеличением доли наружных слоев в плите.

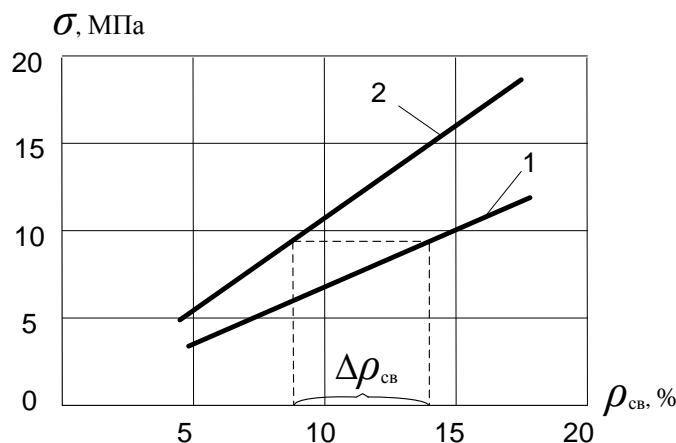


Рис. 2. Зависимости предела прочности плиты плотностью 560 кг/м<sup>3</sup> на статический изгиб от содержания связующего: 1 – на растяжение вдоль пласти  $\sigma_p(\rho_{св})$ ; 2 – на сжатие вдоль пласти  $\sigma_{сж}(\rho_{св})$

Данные теоретические результаты были подтверждены экспериментально. В лабораторных условиях были изготовлены две партии трехслойных древесных толщиной 20 мм форматом 400-400 мм<sup>2</sup> с долей наружных слоев 40 % от общей массы плиты при содержании связующего во внутреннем слое 8 %. Количество плит в каждой партии – 10 шт.

В первой (контрольной) партии наружные слои содержали 14 % связующего концентрацией 50 % (по сухому остатку). Во второй партии плит количество связующего в одном из наружных слоев было снижено до 8,7 % за счет уменьшения его концентрации до 31 %. При этом влажность стружечной смеси обоих наружных слоев оставалась одинаковой.

Прессование проводили в электрообогреваемом прессе при температуре верхней и нижней прессующих поверхностей 170<sup>0</sup>С для первой партии плит и при температуре 184<sup>0</sup>С/156<sup>0</sup>С для второй партии, причем более горячая прессующая поверхность прилегалла к слою с меньшей концентрацией связующего. Таким образом, средняя температура прессования для обеих партий плит была одинаковой. Разность температур 28<sup>0</sup>С между прессующими поверхностями, необходимая для устранения покоробленности готовых плит, была найдена расчетным путем [5] и несколько корректировалась в процессе изготовления из условия наименьшего значения стрелы прогиба готовых плит.

Значения предела прочности трехслойных плит при изгибе (после статистической обработки) представлены в таблице. Покоробленность полученных плит лежала в пределах нормы и в среднем составляла 0,8 мм.

#### Предел прочности при статическом изгибе плит с различным содержанием связующего в наружных слоях

Плита	Содержание связующего в наружных слоях, %		Предел прочности при изгибе, МПа
	Верхний слой	Нижний слой	
Контрольная, симметричная	14,0	14,0	18,6
Асимметричная	8,7	14,0	11,8
	14,0	8,7	18,5

Испытания показали, что предел прочности при статическом изгибе полученной асимметричной древесной плиты при расположении во время испытаний слоя с меньшей концентрацией связующего сверху практически не отличался от предела прочности симметричной плиты и составлял 18,5 МПа. Таким образом, экономия связующего в слое составила 38 %, а общая экономия – 7,6 % без ухудшения основного механического показателя плиты – прочности на статический изгиб. Однако если при изгибе слой с меньшей концентрацией связующего находился снизу, то наблюдалось резкое снижение предела прочности до 11,8 МПа. Поэтому применение такой асимметричной плиты имеет особенность – необходимо маркировать ее верхнюю или нижнюю пласт. Плита должна иметь соответствующее горизонтальное положение согласно такой маркировке. Вертикально располагаемые наружные элементы желательнее размещать стороной с большим содержанием связующего наружу, так как в связующее, как правило, вносятся гидрофобные добавки, придающие материалу водостойкость. Опыт показывает, что при уменьшении количества фенолформальдегидного клея в плите на такую же величину сокращается выделение формальдегида из готовой продукции. Асимметричные плиты, таким образом, являются более экологичными, чем традиционные древесные плиты.

Следует ожидать, что плиты несимметричной конструкции будут коробиться вследствие неодинаковых остаточных напряжений в наружных слоях. Для исключения коробления таких плит использовался один из так называемых «активных» способов устранения покоробленности [5], заключающийся в создании определенного дисбаланса температур верхней и нижней прессующих поверхностей.

Некоторое усложнение технологии производства асимметричных древесных плит (формирование стружечных ковров с тремя степенями осмоленности вместо двух для трехслойных плит, применение двух формирующих машин вместо одной для однослойных плит, создание асимметричного температурного или влажностного режимов в процессе прессования, а также необходимость маркировки пласти плиты для ее дальнейшего правильного расположения) компенсируется экономией связующего или высококачественного стружечного сырья. В итоге производство таких древесных плит оказывается экономически выгоднее, чем изготовление традиционных плит с симметричной структурой.

**Заключение.** Теоретически установлено, что за счет создания несимметричной конструкции в работающих на изгиб древесных плитах при их правильном положении возможно экономить от 7,6 до 38 % свя-

зующего без снижения прочности плит на изгиб. Экспериментальные исследования с достаточной степенью точности подтвердили полученные теоретические положения. При этом покоробленность плит вследствие несимметричного строения компенсировалась в процессе прессования определенным дисбалансом температур верхней и нижней прессующих поверхностей и не превышала 0,8 мм, что соответствует нормативному показателю.

#### Литература

1. *Кауфман Б.Н.* Производство и применение древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1958. – 196 с.
2. *Hänsel A., Kühne G.* Untersuchungen zur Mechanik der Spanplatten // *Holzforschung und Holzverwertung.* – 1988. – № 32. – S.1–5.
3. *Niemz P., Schweitzer F.* Einfluß ausgewählter Strukturparameter auf die Zug- und Druckfestigkeit von Spanplatten // *Holz als Roh- und Werkstoff.* – Berlin, 1990. – S. 361–364.
4. *Фудзи Т., Дзако М.* Механика разрушения композиционных материалов: пер с япон. – М.: Мир, 1982. – 232 с.
5. *Плотников С.М.* Активные способы уменьшения покоробленности древесностружечных плит // *Изв. вузов. Лесной журнал.* – 1992. – № 3. – С. 76–80.

