

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Леонтьева М. М., Борисов О. И. К вопросу использования флуориметрического метода для определения времени склеивания. — В кн.: Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Л., 1978, № 7, с. 48—52. [2]. Шустерзон Г. И. Оптический метод определения продолжительности отверждения полимерных клеев. — Деревообаб. пром-сть, 1981, № 3, с. 6—7. [3]. Шустерзон Г. И. Метод определения продолжительности отверждения клеев. — Реф. сб., 1982, № 7, с. 10—11 (ВНИПИЭИлеспром. Плиты и фанера).

Поступила 24 октября 1983 г.

УДК 537.86.001.2 : 674.817-41

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ И ТОЛЩИНЫ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ СВЧ-МЕТОДОМ

А. Л. ГУТМАН, Г. В. ГОНЧАРОВА, О. П. ИВАНОВА,
В. Ф. НОВИК, В. П. КАШЛЕВ

Воронежский лесотехнический институт

Производство древесностружечных плит (ДСП) нуждается в экспрессном, бесконтактном и неразрушающем контроле их основных физических свойств: влажности, плотности, толщины.

Среди методов неразрушающего контроля известные преимущества имеют сверхвысокочастотные (СВЧ) [3], основанные на взаимодействии электромагнитных волн СВЧ-диапазона с контролируемой средой. Из числа СВЧ-методов для неразрушающего экспрессного контроля пригоден так называемый «метод свободного пространства», при котором измеряют затухание или дополнительный фазовый сдвиг $\Delta\varphi$, рад, электромагнитной волны, прошедшей через слой диэлектрика:

$$\Delta\varphi = \int_0^L \left[\beta(l) - \frac{2\pi}{\lambda} \right] dl, \quad (1)$$

где L — толщина диэлектрика;

l — координата по направлению распространения волны;

β — фазовая постоянная.

Принимая для простоты, что диэлектрические свойства ДСП одинаковы по всей толщине, получим

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda} (\beta - 1). \quad (2)$$

Используя известные соотношения между фазовой постоянной, составляющими комплексной диэлектрической проницаемости ϵ' и ϵ'' и тангенсом угла диэлектрических потерь

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'} \quad (3)$$

и принимая для ДСП значение магнитной проницаемости, равное единице, запишем:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda} \left[\sqrt{\frac{\epsilon'}{2} (1 + \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta})} - 1 \right]. \quad (4)$$

Учитывая, что для древесных материалов значение $\operatorname{tg} \delta$ лежит в интервале десятых долей единицы, напишем упрощенное выражение для дополнительного фазового сдвига:

$$\Delta\varphi \approx \frac{2\pi L}{\lambda} (\sqrt{\epsilon'} - 1). \quad (5)$$

Формула (5) показывает, что дополнительный фазовый сдвиг, вносимый плитой, прямо пропорционален ее толщине. Из сравнения уравнения (5) с аналогичным выражением для вносимого ослабления A , дБ, при тех же условиях [1]

$$A = 19,36 \frac{L}{\lambda} \sqrt{\epsilon' (\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \delta} - 1)} \quad (6)$$

видно, что чувствительность прибора, использующего изменение затухания от толщины, значительно ниже, чем у фазометра. Оценка чувствительности фазометра в случае измерения толщины ДСП в трехсантиметровом диапазоне СВЧ по формуле (5) (полагая $L = 0,02$ м, $\lambda = 0,03$ м, $\epsilon' = 2-3$ и допуск на толщину $\pm 0,3 \cdot 10^{-3}$ м) показывает, что разрешающая способность фазометра должна быть порядка $\pm 4 \cdot 10^{-2}$ рад, что является порогом для большинства простых схем. Из выражения (5) можно также заключить, что фазовое устройство для измерения толщины реагирует на весь комплекс свойств плиты как диэлектрика. Можно показать, что доминирующее влияние на величину ϵ' оказывают влажность и плотность плиты (при условии относительной стабильности химического состава).

Материал плиты представим в виде трехкомпонентной плоской модели [2]. Объем воды обозначим через V_v , объем сухой фазы — через V_c и объем воздуха в порах — через V_n . Принимая, что плотность воды равна единице, получаем $V_v = Q$ (где Q — объемная влажность). Тогда уравнение для фазовой постоянной β электромагнитного поля можно записать так:

$$\beta = Qk_1 + \beta_c V_c k_2 + \beta_n (1 - V_v - V_c) k_3, \quad (7)$$

где β_c, β_n — фазовые постоянные соответствующих компонентов;
 k_1, k_2, k_3 — эмпирические константы.

Полагая, что объемная влажность

$$Q = W\rho' \quad (8)$$

(где W — относительная влажность; ρ' — приведенная плотность, равная плотности влажного материала), а также

$$V_n \ll V_c, \quad (9)$$

и учитывая, что при постоянной толщине L колебания объема сухого вещества незначительны, т. е.

$$\beta V_c k_2 = C = \text{const}, \quad (10)$$

перепишем уравнение (5) в виде

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi L}{\lambda} (W\rho' k_1 + C - 1). \quad (11)$$

Выражение (11) показывает, что приращение фазового сдвига линейно зависит от плотности и влажности. Принимая допуск на плотность $\Delta\rho = 50$ кг/м³ при номинальной плотности 650—700 кг/м³, оцениваем разрешающую способность фазометра в 0,4 рад, что можно обеспечить простейшим устройством.

Метод измерения «в свободном пространстве» был реализован в измерительной установке, являющейся волноводным мостом (рис. 1). Основные элементы установки: волномер I ; клистронный генератор

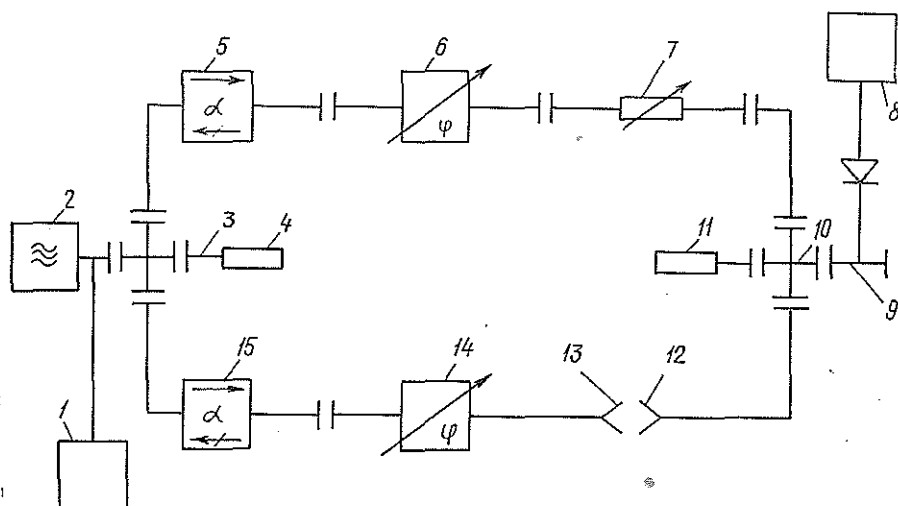


Рис. 1. Блок-схема волноводного моста.

СВЧ-колебаний частоты 10 ГГц 2, снабженный вентилем и модулированный «меандром» с частотой 10^3 Гц; делитель мощности 3 на двойном волноводном тройнике с оконечной нагрузкой 4; развязывающие вентили 5 и 15; настроечный аттенюатор 7; настроечный фазовращатель 6; отсчетный фазовращатель 14; рупорные антенны 12 и 13; двойной волноводный тройник 10 с детекторной камерой 9 и оконечной нагрузкой 11; измерительный усилитель 8.

СВЧ-сигнал генератора через встроенный вентиль поступает на делитель мощности, где разветвляется и поступает в оба плеча схемы, пройдя которые, сигнал поступает на двойной волноводный тройник. К разностному плечу тройника подсоединена детекторная камера, в которой детектируется сигнал разбаланса плеч тройника. Продетектированный сигнал поступает на нуль-индикатор, которым является измерительный усилитель. Перед измерением проводят балансировку плеч схемы, устанавливая стрелку индикатора 8 на минимум с помощью фазовращателей и аттенюатора. Затем образец ДСП помещают между антеннами и снова проводят балансировку схемы, используя на этот раз отсчетный фазовращатель, со шкалы которого считывают показания.

Для исследования изготовлено 75 образцов (размером 100×100 мм) различной толщины и плотности. Измерения сдвига фазы повторяли десятикратно для каждого образца. Экспериментальные данные (750 результатов измерений) статистически обрабатывали. Для выявления зависимости между плотностью и сдвигом фазы изготовлено три серии образцов разной толщины (15,5; 18,3; 18,6 мм). В каждой серии толщина оставалась постоянной в пределах допуска $\pm 0,3$ мм, а плотность менялась в пределах 573—899 кг/м³.

По экспериментальным данным построены графики зависимости между $\Delta\varphi$ и ρ ; усредненная экспериментальная кривая построена по методу наименьших квадратов (рис. 2). Рассчитан коэффициент корреляции, который оказался равным 0,98, что указывает на жесткую линейную зависимость между плотностью ДСП и измеряемым сдвигом фазы. Абсолютная ошибка измерения сдвига фазы 0,48 при доверительной вероятности 0,9. Этой фазовой ошибке соответствует ошибка в измерении

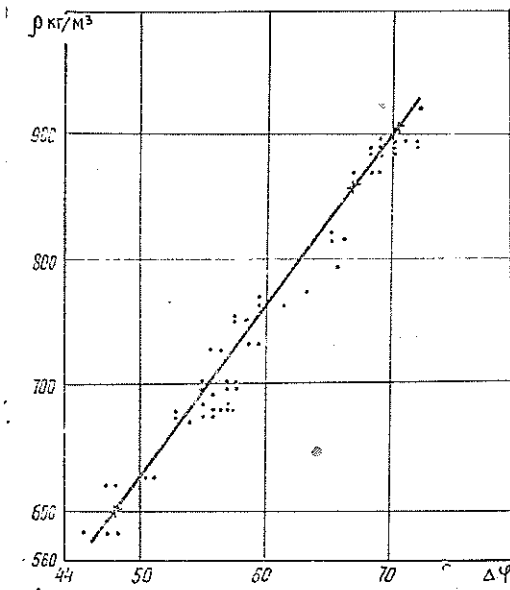


Рис. 2. Связь между плотностью ρ и фазовым сдвигом $\Delta\varphi$ при толщине h , равной $15,5 \pm 0,1$ мм.

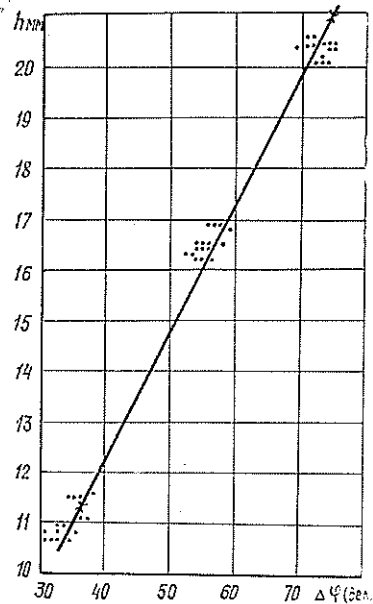


Рис. 3. Связь между толщиной h и фазовым сдвигом $\Delta\varphi_{\text{дел}}$ при плотности ρ , равной $650-700$ кг/м³.

плотности 8 кг/м^3 , что следует считать вполне удовлетворительным при принятом допуске на плотность ДСП — 50 кг/м^3 .

В результате проведенных исследований и обработки результатов эксперимента можно сделать вывод, что микрорадиоволновой метод может быть рекомендован для контроля плотности ДСП.

Для исследования зависимости сдвига фаз от толщины ДСП изготовлены однослойные плиты разной толщины 11, 16, 20 мм. Из этих плит нарезаны образцы, плотность которых менялась в пределах допуска ($650-700 \text{ кг/м}^3$).

Результаты статистически обработаны и представлены на рис. 3.

Коэффициент корреляции оказался равным 0,99, что указывает на наличие жесткой линейной связи между толщиной ДСП и сдвигом фазы. Абсолютная погрешность измерения сдвига фазы при доверительной вероятности 0,9 равна 0,89, что соответствует погрешности в измерении толщины 0,27 мм, т. е. эта погрешность равна допуску.

Из анализа экспериментальных данных измерения $\Delta\varphi$ для плит различной толщины можно сделать вывод о том, что существует жесткая корреляция между $\Delta\varphi$ и h для плит ДСП, но чувствительность установки для измерения толщины находится на пределе допуска ($\pm 0,3$ мм). Точность данного метода для измерения толщины ДСП можно повысить, если производить измерения на меньших длинах электромагнитных волн, например, $\lambda = 2$ см. Эта же установка может быть использована для измерения толщины ДСП при большем допуске.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Берлинер М. А. Измерение влажности. — М.: Энергия, 1973. [2]. Кричевский Е. С., Тонкой Е. П. Экспрессный метод получения частотных характери-

стик влажных материалов. — Приборы и системы управления, 1968, № 2. [3]. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. — М.: Машинно-строение, 1976, т. 1.

Поступила 4 мая 1984 г.

УДК 621.86.067

К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГМЕНТНЫХ И ШИБЕРНЫХ БУНКЕРНО-ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ

Е. Н. РЫКОВ

Луцкий филиал Львовского политехнического института

Рассредоточение пачки заготовок и извлечение единичной заготовки рабочим органом загрузочно-разгрузочных устройств — сложный процесс. Здесь возникают дополнительные усилия из-за специфики формы деталей (переплетение концов заготовок и др.), и рабочие органы устройств испытывают значительные напряжения от действия на них массы заготовок.

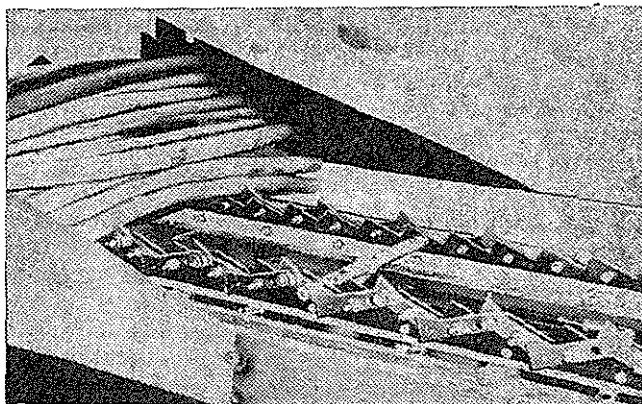


Рис. 1. Сегментное бункерно-загрузочное устройство ЗУ-М для цилиндрических заготовок с прямолинейной и изогнутой осью.

Для изучения характера взаимодействия рабочего органа с массой заготовок при рассредоточении пачки были использованы сегментное (рис. 1) и шиберное (рис. 2) бункерно-загрузочные устройства. С этой целью определяли динамические нагрузки и характер распространения давлений в пачке заготовок, находящихся в бункере. Опасные сечения рабочих органов (Т-образного профиля) загрузочных устройств находятся в месте перехода (выполненного в виде галтели) рабочей поверхности сегмента и шибера в основание.

Тензометрические исследования сегментов, шибера и вибрирующего дна бункера выполнены по следующей схеме: тензодатчики наклеивали по торцам рабочей поверхности шибера (датчик 1 на рис. 3) и на боковую поверхность пластины (датчик 2 на рис. 3).

Деформация, замеренная датчиком 1 в точке А (рис. 3), отличается от наибольшей деформации, замеренной датчиком 2, и зависит от по-