под давлением не дает значительного привеса модифицирующего состава, однако сказывается на снижении прочности фанеры.

Полученную модифицированную фанеру испытывали на огнестойкость в соответствии с ГОСТ 16363–76. Влажность образцов перед испытанием – 7 % и 8 %. Результаты опытов приведены в табл. 5.

Как видно из табл. 5, средняя потеря массы образцов составила 5,3 %, что значительно меньше предельного значения – 9 %. Снижение предела прочности на скалывание модифицированной фанеры на 0,23 МПа, или на 8 %, по сравнению с исходной фанерой произошло за счет разбухания клеевой прослойки во время пропитки, диффузии пропиточного состава,образования напряжений при сушке и термообработке.

Выводы

1. Работа, посвященная снижению горючести фанеры, актуальна.
2. Для снижения горючести фанеры определена возможность использования пропиточных составов на основе жидкого стекла, НКФЖ, ФС, лигносульфонатов.
3. В условиях производства выпущена партия трудносгораемой фанеры, определены ее физико-механические свойства. Предел прочности на скалывание после модифицирования равен 2,4 МПа, что соответствует нормативным требованиям.

УДК 674.81

А.А. ЯНУШКЕВИЧ, канд. техн. наук,
К.О. ЛИТВИНОВА, М.И. КУЛАК, канд. физ.-мат.наук (БТИ)

ФЛУКТУАЦИОННАЯ ГАММА-ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДРЕВЕСИНЫ

В настоящее время в значительном объеме проведены экспериментальные исследования линейных и массовых коэффициентов ослабления ионизирующего излучения древесиной различных пород в целях разработки методов неразрушающего контроля [1]. Методы расчета коэффициентов основываются на данных об элементном составе материала и коэффициентах ослабления для каждого элемента. Построенные таким образом методы расчета отражают элементный состав древесины, но не характеризуют ее структуру, что ограничивает информативность данного способа [2].

Предлагается метод расчета, учитывающий тонкие особенности строения клеточной стенки, при этом эффективный коэффициент ослабления излучения древесиной содержит параметры, характеризующие ее на двух уровнях: ультраструктурном – радиус фибрилл целлюлозы, размер блоков целлюлозы; микроструктурном – объемную долю целлюлозы в клеточной стенке, ее средние размеры и толщину.

Рассматривается энергетический интервал 200 кэВ – 100 МэВ, в котором

основным процессом взаимодействия излучения с древесиной является комптоновское поглощение. Для вычисления коэффициента ослабления воспользуемся формулой

$$\Phi_N = \Phi_0 \exp(-\mu_{эф} H),$$

где Φ_N – поток гамма-квантов, прошедший через древесину; Φ_0 – поток гамма-квантов, поступающий от источника излучения; $\mu_{эф}$ – объемный эффективный коэффициент ослабления гамма-излучения древесиной; H – толщина образца.

Информацию о структуре материала, размерах элементов, их ориентации и распределении дают флуктуации потока ионизирующих излучений. Для интерпретации флуктуаций в терминах структурных параметров древесины используется модель тонкой структуры клеточной стенки, предложенная Д.Фенгелом [3]. В соответствии с этой моделью фибриллярные элементы целлюлозы самых малых размеров (поперечный размер 3 нм) отделяются друг от друга мономолекулярными слоями полиоз, связывающих целлюлозу и лигнин на надмолекулярном уровне, а элементы самого большого размера, представляющие собой блоки фибрилл размером 25 нм, окружены полиозами и лигнином.

Представляем древесину, состоящую из клеток шестиугольной формы размером описанной окружности D, с толщиной стенки $b/2$. Стенку моделируем композиционным материалом, в котором роль матрицы играет лигнин, а роль армирующего компонента – целлюлоза. Тогда поток гамма-излучения после прохождения через первую клетку можно представить следующим образом:

$$\Phi_1 = \Phi_0 e^{(-\mu_1 L_1)},$$

где μ_1 – эффективный коэффициент ослабления гамма-излучения; L_1 – характерный размер клетки в поперечном направлении;

через вторую –

$$\Phi_2 = \Phi_1 e^{(-\mu_2 L_2)} = \Phi_0 e^{-(\mu_1 L_1 + \mu_2 L_2)};$$

через N-ю клетку –

$$\Phi_N = \Phi_0 e^{-(N_{кл} \mu_1 L_1)},$$

где $N_{кл}$ – число клеток, равное $N_{кл} = H/D$ ($L_1 = L_2 = ... = L_N = D$; $\mu_1 = \mu_2 = ... = \mu_N$).

Таким образом, поток на выходе из образца древесины

$$\Phi_N = \Phi_0 e^{(-H \mu_1 L_1 / D)}$$

Рассмотрим прохождение излучения через стенку j-й клетки:

$$\Phi_{i+1} = \Phi_i e^{(-\mu_1 L_1)} = \Phi_i e^{-\left(\sum_{j=1}^{n} \mu_ц l_j + \mu_л \left(b - \sum_{j=1}^{n} l_j\right)\right)} \quad (1)$$

Перегруппируем члены уравнения (1):

$$\Phi_{i+1} = \Phi_0 e^{(-\mu_л b - \Delta\mu \sum_{j=1}^{n} l_j)},$$

где $\mu_л$ – коэффициент ослабления излучения лигнином; $\mu_ц$ – коэффициент ослабления излучения целлюлозой; $\Delta\mu = \mu_ц - \mu_л$.

Вычислим коэффициенты ослабления излучения лигнином и целлюлозой:

$$\mu_л = \sum_{j=1}^{n} \mu_j n_j ; \tag{2}$$

$$\mu_ц = \sum_{j=1}^{n} \mu_k n_k . \tag{3}$$

Для гамма-кванта с энергией 1,25 МэВ коэффициенты ослабления для водорода, кислорода и углерода [5] соответственно следующие: $\mu_Н = 0{,}112$ см^2/г; $\mu_О = 0{,}055$ см^2/г; $\mu_С = 0{,}055$ см^2/г. В работе [3] указано, что концентрация углерода, водорода, кислорода в лигнине $n_С = 0{,}616$; $n_Н = 0{,}059$; $n_О = 0{,}325$, в целлюлозе $n_С = 0{,}445$; $n_Н = 0{,}493$; $n_О = 0{,}062$. Подставляя значения в формулы (2) и (3), получим

$$\mu_л = \mu_С n_С + \mu_Н n_Н + \mu_О n_О = 0{,}0058 \text{ м}^2/\text{кг};$$

$$\mu_л = \mu_С n_С + \mu_Н n_Н + \mu_О n_О = 0{,}0083 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Расстояние, проходимое квантами излучения в целлюлозных фибриллах, зависит от закона распределения, формы, размеров, ориентации фибрилл. В первом приближении можно считать, что фибриллы в блоках и сами блоки в клеточной стенке распределены равномерно, имеют одинаковые размеры, ориентированы перпендикулярно направлению распространения излучения; форма сечения в данном направлении представляет собой круг радиусом 3 нм. Для вычисления среднего расстояния, которое проходят кванты излучения при случайном пересечении одной фибриллы, использовалась функция распределения хорд, случайным образом пересекающих круг известного радиуса. Из работы [4] известно, что

$$s = \int_0^{2r} y f(y)\, dy , \tag{4}$$

где $f(y) = y/2r(4r^2 - y^2)^{0,5}$ – функция распределения хорд, случайным образом пересекающих круг радиусом r.

Проинтегрировав выражение (4), получим

$$s = \pi r/2 .$$

В работе [3] показано, что размер трахеид в хвойной древесине D = = 10–50 мкм. Тогда средний диаметр $D = 30$ мкм. Средняя толщина стенки трахеиды $b = 8{,}6$ мкм. Предполагаем, что клетка имеет цилиндрическую форму. По аналогии с определением среднего расстояния, проходимого гамма-квантом в одном волокне целлюлозы, будем считать, что при пересечении клетки гамма-кванты проходят путь $s = \pi D/4$. При этом на целлюлозу приходится

$$s_ц = sn_ц = \pi D n_ц/4 .$$

Число блоков, пересекаемых гамма-квантом,

$$N_{бл} = s_ц/q = \pi D n_ц/4q .$$

Число волокон, пересекаемых гамма-квантом,

$$N_{вл} = 4N_{бл} = \pi D n_ц/q .$$

Суммарный путь гамма-квантов в целлюлозе

$$\sum_{j=1}^{n} l_j = sN_{вл} = \pi r \pi D n_ц/2q = \pi^2 r D n_ц/2q ,$$

тогда

$$\mu_1 L_1 = (\mu_л b + \Delta\mu\pi^2 r D n_ц)/2q .$$

Окончательно получим

$$\mu_{эф} = (\mu_л b + \Delta\mu\pi^2 r D n_ц/2q)/D = b(\mu_л + \Delta\mu\pi^2 r n_ц D/2qb)/D . \qquad (5)$$

Если принять, что $b = 8{,}6$ мкм и $D = 10$ мкм, то $\mu_{эф} = 0{,}00634$ м^2/кг. Если $b = 8{,}6$ мкм, $D = 30$ мкм, то $\mu_{эф} = 0{,}003$ м^2/кг. Таким образом, $\mu_{эф}$ колеблется в пределах 0,00634–0,003 м^2/кг. Это объясняется тем, что диаметр трахеид $D = 10$–50 мкм. Экспериментальная величина эффективного коэффициента ослабления равна 0,006 м^2/кг [2]. Это значение близко к полученному в теории.

Рассмотрим особенности строения древесины, приводящие к выходу части волокон на пласть. Эти особенности появляются при наличии в древесине пороков, таких, как сучки, наклон волокон. Пусть некоторая группа волокон составляет угол β с положительным направлением оси X. При пересечении фибрилл целлюлозы в таких волокнах плоскостью, параллельной ZOY, в сечении получится эллипс, каноническое уравнение которого будет иметь следующий вид:

$$z^2/(r/\cos\beta)^2 + y^2/r^2 = 1 . \qquad (6)$$

Определим функцию распределения хорд, случайным образом проведенных в этом эллипсе параллельно оси Z. Вероятность P некоторой случайной точке попасть на интервал Δy отрезка величиной r

$$P = dy/r\,. \tag{7}$$

Из уравнения (6) находим длину хорды эллипса в произвольной точке y:

$$l = 2r(1 - y^2/r^2)^{0,5}/\cos\beta\,,$$

отсюда

$$y = (4r^2 - l^2\cos^2\beta)^{0,5}/2.$$

Далее

$$dy = \cos^2\beta l dl/2(4r^2 - l^2\cos^2\beta)^{0,5}\,. \tag{8}$$

Подставив выражение (8) в (7) и учитывая, что функция распределения $f(l) = P/dl$, получим

$$f(l) = l\cos\beta/2r\,(4r^2/\cos^2\beta - l^2)^{0,5}\,.$$

Средний путь, который проходит гамма-квант при случайном пересечении одного волокна целлюлозы,

$$s = \int_{2r/\cos\beta}^{0} l^2\cos\beta dl/2r\cdot(4r^2/\cos^2\beta - l^2)^{0,5}\,.$$

Проинтегрировав аналогично приведенному ранее, получим

$$s = \pi r/2\cos\beta\,.$$

Соответственно эффективный коэффициент ослабления будет вычисляться по формуле

$$\mu_{эф} = b(\mu_л + \Delta\mu\pi^2 m_ц D/2qb\cos\beta)/D\,. \tag{9}$$

При $\beta = 0$ формула (9) совпадает с формулой (5). Отметим также, что формула (9) справедлива для $\beta < \pi/2$. Случай $\beta = \pi/2$ соответствует преиму-

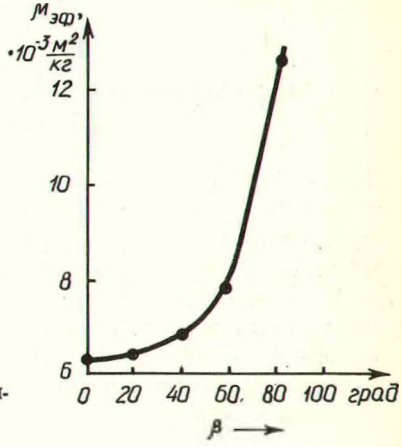

Рис. 1. Зависимость эффективного коэффициента ослабления от ориентации волокон

щественно прохождению гамма-кванта по лигнину или целлюлозе, поэтому флуктуации в прошедшем потоке отсутствуют.

Зависимость коэффициента ослабления от угла β при значениях остальных параметров, соответствующих проделанным ранее вычислениям, приведена на рис. 1. Для наиболее часто встречающихся углов наклона сучков, лежащих в пределах 40–80°, $\cos\beta$ дает вклад в $\mu_{эф}$ порядка 50 % его значения. Для углов 0–40°, соответствующих порокам строения (наклон волокон), $\cos\beta$ дает вклад до 10 %.

Таким образом, предлагаемый в данной работе теоретический подход к вычислению эффективного коэффициента ослабления гамма-излучения позволяет исследовать чувствительность метода гамма-дефектоскопии к различным структурным параметрам древесины и их особенностям, представляющим собой пороки древесины. Он окажется полезным при построении математической модели компьютерной томографической установки, на базе которой может быть разработана высокоточная автоматизированная система по определению качества пиломатериалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кармадонов А.Н. Дефектоскопия древесины. М., 1987. 2. Долацис Я.А. Радиационно-химическое модифицирование древесины. Рига, 1985. 3. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина: Химия, ультраструктура, реакции. М., 1988. 4. Кендалл М., Моран П. Геометрические вероятности. М., 1975. 5. Кимель Л.Р., Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений. М., 1966.

УДК 674.093:658.512.22

А.А. ЯНУШКЕВИЧ, канд.техн.наук,
М.И.КУЛАК, канд.физ.-мат.наук,
М.К.ЯКОВЛЕВ (БТИ)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСКРОЯ СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОГАНОГО ШПОНА

Оптимизация раскроя сырья для производства строганого шпона является необходимым условием увеличения выхода продукции и связана с переходом от визуального раскроя к применению технологических систем с программным управлением. Система оптимального раскроя должна использовать адекватное описание раскраиваемого объекта. Ввиду недетерминированности формы и размеров кряжей численные модели таких объектов имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными аналитическими, ибо позволяют представить пространственную форму моделируемого объекта сколь угодно точно. С этой целью нами предложена математическая модель