

1. Гринберг Б.В., Ларионов А.А. Инфракрасный влагомер // Деревообрабатывающая пром-сть. 1990. № 3. С. 14. 2. А. с. 1497530 СССР, Кл. G 01 N 21/81. Влагомер.

УДК 674. 81

М.И.КУЛАК (БТИ)

## УЧЕТ СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В ИОНИЗАЦИОННОМ МЕТОДЕ КОНТРОЛЯ ДРЕВЕСИНЫ

Ряд преимуществ ионизационного метода контроля древесины, среди которых гибкость, оперативность, информативность, позволяют ему занимать одно из центральных мест среди современных методов неразрушающего контроля древесины. Вместе с тем широкое внедрение в практику работы лесных и деревообрабатывающих предприятий установок для неразрушающего контроля размерных характеристик и качества древесины невозможно без глубокого изучения последней как объекта контроля и использования современных представлений о ее структуре и свойствах при конструировании аппаратуры для неразрушающего контроля.

В работе [1] предложен метод расчета основной характеристики, отражающей процесс взаимодействия гамма-квантов с древесиной, — эффективного коэффициента ослабления, который позволил учесть тонкие особенности строения ее клеточной стенки и связал в единый комплекс параметры как ультра-, так и микроструктурного уровня.

Задача данной работы — разработка способа количественного описания структуры древесины и ее неоднородностей на макроуровне, а также учет соответствующих этому уровню описания параметров при расчете эффективного коэффициента ослабления древесины.

В результате выполнения поставленной задачи удастся построить математическую модель, которая связывает в единый комплекс структурные характеристики всех выделяемых в древесине уровней. Модель позволяет исследовать влияние структурных характеристик различных пород древесины на проникающие в нее потоки гамма-квантов, определить границы их ослабления и тем самым связать древесиноведческую и физическую основы для конструирования эффективной аппаратуры неразрушающего контроля.

При разработке количественного описания структуры древесины на макроуровне традиционно применяются стандартные статистические методы построения эмпирических распределений, вычисления средних значений структурных характеристик и использование их в дальнейшем для идеализации структуры, которая в конечном итоге становится регулярной. Теория фракталов позволяет сделать следующий шаг в данном направлении и перейти к учету в моделях неоднородностей. Если известен закон распределения плотности в некоторой структуре [2], которую можно отождествить с кластером (например, в древесностружечной плите) и этот закон имеет степенной вид с показателем степени  $\alpha$ , то основной параметр теории фракталов, однозначно

Таблица 1. Фрактальная размерность макроструктуры древесины

| Порода древесины   | Показатель степени $\alpha$ ,<br>среднее значение | Фрактальная<br>размерность $D$ |
|--------------------|---|--------------------------------|
| Сосна кедровая     | 0,331   | 1,669                          |
| Лиственница        | 0,287   | 1,713                          |
| Ель обыкновенная   | 0,259   | 1,741                          |
| Сосна обыкновенная | 0,251   | 1,749                          |
| Пихта сибирская    | 0,231   | 1,769                          |
| Можжевельник       | 0,152   | 1,848                          |
| Кипарис            | 0,134   | 1,866                          |
| Граб               | 0,071   | 1,929                          |
| Каштан             | 0,061   | 1,939                          |
| Липа               | 0,034   | 1,966                          |

определяющий кластер и его свойства — фрактальная размерность  $D$ , определяется из простого выражения

$$D = d - \alpha, \quad (1)$$

где  $d$  — размерность пространства, в которое вложен кластер.

На микрофотографиях поперечных срезов древесины [3] неоднородность распределения плотности в пределах годичного слоя хорошо просматривается. В целях определения количественных значений распределения плотности методом микроскопии по приведенным в работе [3] микрофотографиям для 10 пород были измерены распределения размеров трахеид и по ним построены гистограммы распределения плотности. Гистограммы аппроксимировались степеней зависимостью и определялись значения показателя степени  $\alpha$ . Далее по выражению (1) находили значения фрактальной размерности  $D$ . Результаты вычислений для различных хвойных и лиственных пород древесины представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, теория фракталов позволяет одним параметром однозначно охарактеризовать структуру древесины на макроуровне. Причем этот параметр используется не только для описания структуры, на его основе можно описать все ее физико-механические свойства. Продемонстрируем эти возможности на примере вычисления эффективного коэффициента ослабления гамма-излучения древесиной.

Следуя работе [1], для вычисления коэффициента ослабления  $\mu_{\text{эф}}$  воспользуемся формулой

$$\Phi_N = \Phi_0 \exp(-\mu_{\text{эф}} H), \quad (2)$$

где  $\Phi_0$  — поток гамма-фотонов, поступающий от источника излучения;  $\Phi_N$  — поток фотонов, прошедший через образец древесины толщиной  $H$ .

Предположим, что на пути длиной  $H$  гамма-фотон последовательно пересечет  $N$  трахеид. В этом случае выражение (2) примет следующий вид:

$$\Phi_N = \Phi_0 \exp(-(\mu_1 l_1 + \mu_2 l_2 + \dots + \mu_N l_N)), \quad (3)$$

где  $\mu_1, \dots, \mu_N$  — эффективный коэффициент ослабления гамма-излучения древесным веществом трахеид;  $l_1, \dots, l_N$  — характерный размер клеток в направлении движения гамма-фотона. Поскольку коэффициент ослабления является фундаментальной физической характеристикой древесного вещества, то он одинаков для всех трахеид. Что же касается размера клеток, то в отличие от работы [1] в данной работе есть возможность учесть неоднородность в распределении их по размерам. В этом случае выражение (3) несколько упрощается:

$$\Phi_N = \Phi_0 \exp(-\mu(l_1 + l_2 + \dots + l_N)) = \Phi_0 \exp(-\mu \sum_{i=1}^N l_i). \quad (4)$$

Представляя клеточную стенку в виде композиционного материала, в котором роль матрицы играет лигнин, а роль армирующего компонента — фибриллы целлюлозы, процесс прохождения излучения через стенку  $i$ -й трахеиды можно описать следующим образом [1]:

$$\Phi_{i+1} = \Phi_i \exp(-\mu_i l_i) = \Phi_i \exp(-(\mu_n b_i + \Delta\mu \sum_{j=1}^n l_{ij})), \quad (5)$$

где  $\mu_n$  — коэффициент ослабления излучения лигнином;  $b_i$  — толщина стенки трахеид;  $\sum_{j=1}^n l_{ij}$  — суммарный путь гамма-квантов в целлюлозе;  $\Delta\mu = \mu_\phi -$

—  $\mu_n$ ;  $\mu_\phi$  — коэффициент ослабления излучения фибриллами целлюлозы.

Подставив выражение (5) в (4) и приравняв его к правой части выражения (2), получим выражение для эффективного коэффициента ослабления:

$$\mu_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^N (\mu_n b_i + \Delta\mu \sum_{j=1}^n l_{ij}) / H. \quad (6)$$

В работе [4] показано, что суммарный путь гамма-квантов в целлюлозе равен произведению концентрации целлюлозы в клеточной стенке  $v_u$  на ее толщину:

$$\sum_{j=1}^n l_{ij} = v_u b_i,$$

что позволяет представить формулу (6) в следующем виде:

$$\mu_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^N (\mu_n b_i + \Delta\mu v_u b_i) / H. \quad (7)$$

Для вычисления коэффициента ослабления излучения фибриллами целлюлозы используем развитый в работе [4] подход, предполагающий наличие фрактальных свойств внутренней структуры фибрилл, т.е. элементарные микрофибриллы объединяются в кластеры — макрофибриллы, имеющие фрактальный тип структуры. Выражение для коэффициента ослабления:

$$\mu_{\Phi}^{\lambda} = \mu_n + (\mu_u - \mu_n) r_{\Phi}^{D_{\Phi} - d}, \quad (8)$$

где  $r_{\Phi}$  — радиус макрофибрилл;  $D_{\Phi}$  — фрактальная размерность кластера макрофибрилл;  $\mu_u$  — коэффициент ослабления излучения целлюлозой.

Подставив выражение (8) в формулу (7), получим

$$\mu_{\Sigma\Phi} = (\mu_n + (\mu_u - \mu_n) r_{\Phi}^{D_{\Phi} - d} \nu_u) \sum_{i=1}^n b_i / H. \quad (9)$$

Для определения суммы в формуле (9) воспользуемся законом распределения плотности на макроструктурном уровне:

$$\sum_{i=1}^n b_i = \frac{N}{4l} \int_0^h r_A^{D-d} dr_A = H h^{D-d} / 4l(D-d+1),$$

где  $h$  — толщина годичного слоя древесины.

Таким образом, окончательное выражение для эффективного коэффициента ослабления гамма-излучения древесиной

$$\mu_{\Sigma\Phi} = (\mu_n + (\mu_u - \mu_n) \nu_u r_{\Phi}^{D_{\Phi} - d}) h^{D-d} / 4l(D-d+1). \quad (10)$$

Выражение (10) может быть использовано в древесиноведческих целях для определения параметров, характеризующих древесину на различных уровнях структурной организации, по результатам экспериментов с рассеянием ионизирующих излучений. Если же имеются в виду породы, для которых параметры структуры известны, то по выражению (10) можно определить для них коэффициент ослабления, который позволяет сделать заключение о чувствительности аппаратуры для неразрушающего контроля древесины, промоделировать реальные условия ее работы.

#### Литература

1. Янушкевич А.А., Литвинова К.О., Кулак М.И. Флуктуационная гамма-дефектоскопия древесины // Технология и оборудование заготовки и переработки древесины. Мн., 1990. Вып. 5. С. 99—104.
2. Кулак М.И. Статистические аспекты взаимосвязи структуры и свойств композиционных материалов на основе диспергированной древесины // VIII International Symposium Fundamental Research of Wood. Warszawa, 1990. Р. 289—293.
3. Вихров В.Е. Диагностические признаки древесины. М., 1959.
4. Кулак М.И. Фрактальный подход к описанию структуры клеточной стенки древесины // Строение древесины и его роль в процессах делигнификации. Рига, 1990. С. 132—135.