

Шевченко С.А.,  
Автухов А.К.,  
Дьяченко В.Ю.,  
Биляк В.В.

Харківський національний технічний  
університет сільського господарства  
ім. Петра Василенка  
E-mail: Serg.Shevchen@gmail.com

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ РАДИАЛЬНЫЕ, ТАНГЕНЦИАЛЬНЫЕ И ТОРЦЕВЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ ДРЕВЕСИНЫ

УДК 674.048

*Разработана регрессионная математическая модель пропитки образцов древесины радиальной и тангенциальной распиловки жидкостью. Используются образцы радиальной и тангенциальной распиловки с равными площадями сечений, имеющие различные длины. Для определения удельного поглощения необходимо измерить размеры образцов, взвесить их до и после выдержки в жидкости. Затем осуществляется идентификация параметров математической модели и расчет поглощения жидкости через радиальные, тангенциальные и торцевые поверхности образцов древесины. Методика не требует гидроизоляции каких-либо поверхностей образцов.*

**Ключевые слова:** древесина, поглощение, жидкость, влажность, радиальная поверхность, тангенциальная поверхность.

### Введение

В деревообработке широко применяются технологические процессы, в ходе которых происходит поглощение жидкости древесиной – например, пропитка антисептиками и антипиренами, склеивание, нанесение лакокрасочных покрытий. При разработке таких технологических процессов возникает необходимость в расчете их длительности. Для этого необходимы экспериментально определять значения параметров, характеризующих интенсивность поглощения жидкости в условиях, присущих разрабатываемому технологическому процессу.

### Постановка проблемы

Поглощение жидкости древесиной зависит от многочисленных факторов – породы, положения в стволе (ядро, заболонь), температуры и начальной влажности древесины. Особого внимания требует анизотропия древесины, проявляющаяся в том, что проницаемость вдоль волокон в 10–1000 раз больше, чем поперек волокон [1]. Проницаемости древесины в радиальном и тангенциальном направлениях также существенно различаются (в 2–4 раза по данным [1]). Естественно, на поглощение влияют и свойства жидкости. В связи с этим возникает необходимость экспериментально определять поглощение жидкости различными поверхностями образцов древесины.

В [2] приведена методика измерения поглощения воды образцом древесины в форме прямой призмы с квадратным основанием, причем толщина образца (вдоль волокон) значительно меньше, чем размеры сторон основания. Методика основана на измерении массы поглощенной воды. Аналогичная методика определения коэффициента абсорбции воды предложена в [3]; она основана на периодическом взвешивании образцов и определения массы поглощенной воды. Методика определения коэффициента абсорбции в заданном направлении [4] основана на погружении образцов в форме прямой призмы так, чтобы лишь одна грань находилась в воде (точнее, была погружена на 5±2 мм при размерах образца 50x50x50 мм). Анализ методик [2-4] позволяет сделать вывод, что они пригодны, для определения поглощения жидкости торцевыми поверхностями образцов древесины.

Определить поглощение воды через торцевым, радиальные и тангенциальные поверхности образца можно, определив влажности соответствующих подповерхностных слоев древесины. Поэтому обратим особое внимание на методы, позволяющие определять влажность некоторых зон образца. В [5] предложена методика определения поглощения древесины через торцевые и боковые поверхности образцов древесины смешанной распиловки.

В [6] приведена методика диэлькометрического измерения влажности отдельных зон образца древесины, основанная на определении взаимодействии сверхвысокочастотных электромагнитных колебаний, распространяющихся между несколькими электродами, с влагой.

Наиболее подробную информацию о распределении воды в образце в форме 3D-модели можно получить методами рентгеновской томографии [7] и магнитно-резонансной томографии [8, 9]. Однако эти методы требуют применения весьма сложного измерительного оборудования.

**Нерешенной частью проблемы** является разработка методики определения поглощения жидкости древесиной, которая позволит определять поглощение отдельно через торцевые, радиальные и тангенциальные поверхности без применения сложного измерительного оборудования, влагоизоляции поверхности или разрушения образца.

**Целью** статьи является разработка пригодной для применения в производственных условиях методики определения поглощения через торцевые, радиальные и тангенциальные поверхности образцов древесины.

### Обоснование методики определения поглощения жидкости древесиной

Границу между пропитанной и непропитанной частями образца древесины примем соответствующей некоторому значению влажности древесины, промежуточному между начальной влажностью древесины и максимальной влажностью пропитанной древесины. Определим вид зависимости между длиной образца и массой поглощенной жидкости.

Испытаниям подвергаются несколько образцов радиальной и тангенциальной распиловки, имеющие различные длины. Образцы выдерживаются в жидкости в течении равных промежутков времени. При разработке математической модели пропитки полагаем, что все образцы после выдержки в жидкости пропитались на одинаковую глубину по торцевым поверхностям, а по радиальным и тангенциальным поверхностям образцы пропитались на соответствующие, одинаковые для всех образцов, глубины – см. рис. 1.

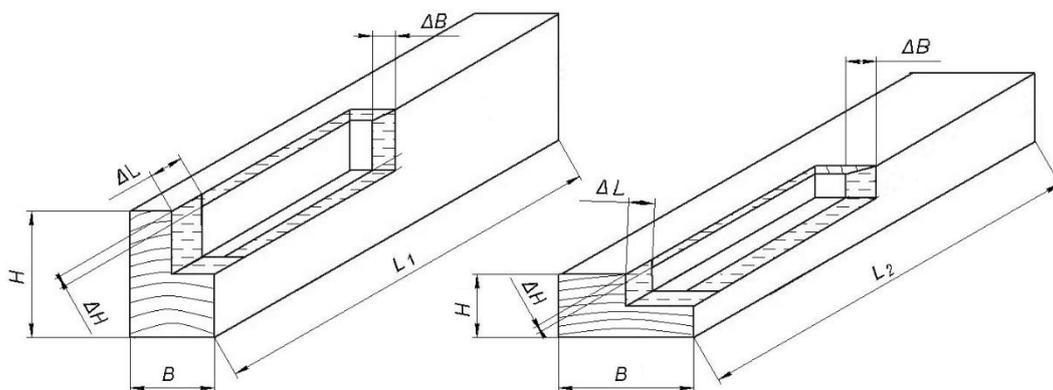


Рис. 1 – Эскизы образцов

Определим объемы пропитанных частей образцов:

$$\Delta v_{II} = 2BH\Delta L, \quad (1)$$

$$\Delta v_p = 2(L - 2\Delta L)(B - \Delta B)\Delta H, \quad (2)$$

$$\Delta v_T = 2(L - 2\Delta L)(H - \Delta H)\Delta B, \quad (3)$$

где  $\Delta v_{II}$  – объем древесины, пропитанной через торцевые поверхности, м<sup>3</sup>;

$B$  – ширина образца, м;

$H$  – высота образца, м;

$\Delta L$  – глубина пропитки вдоль волокон, м;

$\Delta v_p$  – объем древесины, пропитанной через радиальные поверхности, м<sup>3</sup>;

$\Delta H$  – глубина пропитки в радиальном направлении, м;

$\Delta B$  – глубина пропитки в тангенциальном направлении, м;

$\Delta v_T$  – объем древесины, пропитанной через тангенциальные поверхности, м<sup>3</sup>.

Суммируя эти объемы, получим суммарный объем пропитанной древесины:

$$\Delta v = \Delta v_{II} + \Delta v_p + \Delta v_T, \quad (4)$$

где  $\Delta v$  – объем пропитанной части образца, м<sup>3</sup>.

Определим суммарную массу поглощенной жидкости:

$$\begin{aligned} \Delta m_i = \Delta v_i \Delta \rho = 2 \left[ L \left( (B - \Delta B) \Delta H + (H - \Delta H) \Delta B \right) + \right. \\ \left. + BH\Delta L - \Delta L \left( (B - \Delta B) \Delta H + (H - \Delta H) \Delta B \right) \right] \Delta \rho, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $\Delta m_i$  – масса жидкости, поглощенной  $i$ -м образцом, кг;

$\Delta v_i$  – объем пропитанной части  $i$ -го образца, м<sup>3</sup>;

$\Delta \rho$  – приращение плотности древесины в пропитанной части, кг/м<sup>3</sup>.

Следовательно, зависимость массы поглощенной жидкости от длины образца будет иметь вид:

$$\Delta m(L) = aL + b, \quad (6)$$

$$a = 2 \left( (B - \Delta B) \Delta H + (H - \Delta H) \Delta B \right) \Delta \rho, \quad (7)$$

$$b = 2 \left[ BH\Delta L - \Delta L \left( (B - \Delta B) \Delta H + (H - \Delta H) \Delta B \right) \right] \Delta \rho, \quad (8)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца, кг/м;

$b$  – постоянная составляющая в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца, кг;

Если принять глубину пропитки в каждом из направлений малой по сравнению с соответствующим размером образца, то формулы (6) можно упростить:

$$a = 2(B\Delta H + H\Delta B)\Delta \rho, \quad (9)$$

$$b = 2BH\Delta L\Delta \rho, \quad (10)$$

Применяя эти зависимости к двум группам образцов (тангенциальной и радиальной распиловки), получим

$$\begin{cases} a_T = 2(B_T \Delta H + H_T \Delta B) \Delta \rho \\ b_T = 2B_T H_T \Delta L \Delta \rho \\ a_P = 2(B_P \Delta H + H_P \Delta B) \Delta \rho \\ b_P = 2B_P H_P \Delta L \Delta \rho \end{cases} \quad (11)$$

где  $a_T$  – коэффициент пропорциональности в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца тангенциальной распиловки, кг/м;

$b_T$  – постоянная составляющая в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца тангенциальной распиловки, кг;

$a_P$  – коэффициент пропорциональности в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца радиальной распиловки, кг/м;

$b_P$  – постоянная составляющая в регрессионной зависимости массы поглощенной жидкости от длины образца радиальной распиловки, кг.

Если поперечное сечение образцов тангенциальной и радиальной распиловки равны, то количество уравнений в (11) сократится до трех, что совпадает с количеством неизвестных значений глубины пропитки:

$$\begin{cases} a_T = 2(B_T \Delta H + H_T \Delta B) \Delta \rho \\ a_P = 2(B_P \Delta H + H_P \Delta B) \Delta \rho \\ b_T + b_P = 4S_T \Delta L \Delta \rho \end{cases} \quad (12)$$

Решая эту систему уравнений, определим глубину пропитки в каждом из направлений:

$$\Delta L = \frac{b_T + b_P}{4S_T \Delta \rho}, \quad (13)$$

$$\Delta B = \frac{\frac{a_T}{B_T} - \frac{a_P}{B_P}}{2 \Delta \rho \left( \frac{H_T}{B_T} - \frac{H_P}{B_P} \right)}, \quad (14)$$

$$\Delta H = \frac{1}{2 \Delta \rho} \left[ \frac{a_P}{B_P} - \frac{H_P}{B_P} \cdot \frac{\frac{a_T}{B_T} - \frac{a_P}{B_P}}{\frac{H_T}{B_T} - \frac{H_P}{B_P}} \right]. \quad (15)$$

Полученные значения глубины пропитки в каждом из направлений позволяют определить удельное поглощение через соответствующие поверхности:

$$q_{II} = \Delta L \Delta \rho = \frac{b_T + b_P}{4S_T \Delta \rho}, \quad (16)$$

$$q_T = \Delta B \Delta \rho = \frac{\frac{a_T}{B_T} - \frac{a_P}{B_P}}{2 \left( \frac{H_T}{B_T} - \frac{H_P}{B_P} \right)}, \quad (17)$$

$$q_p = \Delta H \Delta \rho = \frac{1}{2} \left( \frac{a_p}{B_p} \left( 1 - \frac{H_p}{B_p} \right) + \left( \frac{H_p}{B_p} \right)^2 \cdot \frac{a_T B_p - a_p B_T}{H_T B_p - H_p B_T} \right), \quad (18)$$

где  $q_{II}$  – удельное поглощение через торцевую поверхность, кг/м<sup>2</sup>.

$q_T$  – удельное поглощение через тангенциальную поверхность, кг/м<sup>2</sup>;

$q_p$  – удельное поглощение через радиальную поверхность, кг/м<sup>2</sup>.

### Выводы

1. Определяя параметры регрессионных зависимостей массы поглощенной жидкости от длины образцов радиальной и тангенциальной распиловки, можно оценить удельное поглощение через торцевые, радиальные и тангенциальные поверхности образцов древесины.

2. Перспективным направлением дальнейших исследований является оптимизация соотношений размеров образцов

### Литература

1. Стенина Е.И., Левинский Ю.Б. Защита древесины и деревянных конструкций. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. –219 с.
2. ГОСТ 16483.20-72 Древесина. Метод определения водопоглощения.
3. Emmanuel Tete Okoh. Water absorption properties of some tropical timber species // Journal of Energy and Natural Resources, 2014, no.3(2), pp. 20-24.
4. Mukhopadhyaya P., Kumaran K., Normandin N., Goudreau P. Effect of surface temperature on water absorption coefficient of building materials // Journal of Thermal Envelope and Building Science, v. 26, no. 2, Oct. 2002, pp. 179-195.
5. Шевченко С.А., Автухов А.К., Дьяченко В.Ю., Грошиков В.В. Определение абсорбции жидкости при пропитке элементов конструкций и столярно-строительных изделий из древесины смешанной распиловки // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. - 2015. - Вип. 167. - С. 33-37.
6. Ільків І.М., Креховецький О.М. Визначення поля вологості деревини за допомогою градувальних кривих // Український державний лісотехнічний університет. Науковий вісник. –2001. – Вип. 11.2. –С. 77-78.
7. Jan Ekstedt. Studies on the barrier properties of exteriorwood coatings. Doctoral Thesis. KTH- Royal Institute of Technology Department of Civil and Architectural Engineering Division of Building Materials. Stockholm 2002. 63 p.
8. Three-dimensional in vivo magnetic resonance microscopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. MAGMA (2005) 18: 171-174. DOI 10.1007/s10334-005-0109-5
9. Тамби А.А., Теппов А.В., Шимкевич Ю.А., Гальсман И.Е. Методика применения магнитно-резонансной томографии для оценки внутреннего строения и влажности круглых лесоматериалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. –2013. –Вип. 203. –С. 100–107.

### Summary

**Shevchenko S., Dyachenko V., Biliak V.** Technique for determination of liquid absorption through radial, tangential and end faces of wood samples

*Regression mathematical models of impregnation of wood samples are developed. Samples of radial and tangential cutting with equal cross-sectional area are used. Samples have*

*different lengths. To determine the specific absorption necessary to measure the dimensions of the samples, weigh them before and after exposure to liquids. Identification parameters of the mathematical model and calculation of the liquid absorption through the radial, tangential and end faces of wood samples are then performed. The technique does not require any sealing surface of the sample.*

**Key words:** wood, absorption, liquid moisture, radial surface, tangential surface.

### References

1. Stenina E.I., Levinskij Ju.B. Zashhita drevesiny i derevjannyh konstrukcij. –Ekaterinburg: UGLTU, 2007. –219 s.
2. GOST 16483.20-72 Drevesina. Metod opredelenija vodopogloshhenija.
3. Emmanuel Tete Okoh. Water absorption properties of some tropical timber species // Journal of Energy and Natural Resources, 2014, no.3(2), pp. 20-24.
4. Mukhopadhyaya P., Kumaran K., Normandin N., Goudreau P. Effect of surface temperature on water absorption coefficient of building materials // Journal of Thermal Envelope and Building Science, v. 26, no. 2, Oct. 2002, pp. 179-195.
5. Il'kiv I.M., Krekhovets'kyj O.M.. Vyznachennya polya volohosti derevyny za dopomohoyu hraduyoval'nykh kryvykh // Ukrayins'kyj derzhavnyy lisotekhnichnyy universytet. Naukovyy visnyk. –2001. – Vyp. 11.2. –S. 77-78.
6. Jan Ekstedt. Studies on the barrier properties of exteriorwood coatings. Doctoral Thesis. KTH - Royal Institute of Technology Department of Civil and Architectural Engineering Division of Building Materials. –Stockholm, 2002. 63 p.
7. Three-dimensional in vivo magnetic resonance microscopy of beech (*Fagus sylvatica* L.) wood. MAGMA (2005) 18: 171-174. DOI 10.1007/s10334-005-0109-5
8. Tambi A.A., Teppoev A.V., Shimkevich Ju.A., Gal'sman I.E. Metodika primenenija magnitno-rezonansnoj tomografii dlja ocenki vnutrennego stroenija i vlazhnosti kruglyh lesomaterialov // Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii. –2013. –Vyp. 203. –S. 100-107.