

УДК 630\*945.4

**А.С. Торопов, Е.С. Шарапов**

Торопов Александр Степанович родился в 1950 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета, заслуженный деятель науки Республики Марий Эл. Имеет более 150 печатных работ в области интенсификации процессов распиловки, энергосберегающих и ресурсосберегающих технологий обработки и переработки лесоматериалов.



Шарапов Евгений Сергеевич родился в 1980 г., окончил в 2002 г. Марийский государственный технический университет, аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского государственного технологического университета. Имеет более 10 печатных работ в области комплексного использования низкокачественной древесины.



## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ, ПОРАЖЕННОЙ СЕРДЦЕВИННОЙ ГНИЛЬЮ**

Разработана методика экспериментальных исследований плотности древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью.

*Ключевые слова:* плотность древесины, kern, способ раскря, аллометрический метод исследований, сердцевинная гниль.

Существующие приоритетные направления использования низкокачественной древесины, пораженной сердцевинной гнилью, не позволяют рационально применять в производстве ее здоровую заболонную часть. Поэтому необходимы специализированные технологии по переработке древесины, пораженной сердцевинной гнилью.

Одно из перспективных направлений – внедрение технологий производства однородной продукции, разработанных на кафедре деревообрабатывающих производств Марийского государственного технического университета. Здесь с использованием морфологического метода исследований ведется постоянный поиск новых способов раскря низкокачественной древесины. Применение их в производственных условиях невозможно без изучения свойств заболонной древесины и древесины, непосредственно прилегающей к пораженному слою.

Основными разрушающими сердцевину березы гнилями являются *Phellinus igniarius* (Fr.) и *Inonotus obliquus* (Fr.) [1, 7].

Механические свойства древесины в развитых гнилях всех типов сильно изменены, поэтому плотность такой древесины не является надежным показателем прочности. Она непригодна для применения в случаях, когда на нее воздействуют нагрузки. Пестрая и белая гнили в развитых ста-

дях заметно уменьшают плотность древесины, поэтому она кажется очень легкой. Однако на начальной стадии распространения белой коррозионной гнили механические свойства древесины изменяются мало [1, 4, 7].

В эксперименте использовали древесину березы, имеющую постепенно уменьшающуюся в развитии от оси лесоматериала белую коррозионную сердцевинную гниль, вызванную лигнинразрушающими грибами.

Можно предположить, что по мере разрушения древесины сердцевинной гнилью нагрузки, обусловленные весом дерева, а также ветровые нагрузки перераспределяются на заболонь и части древесины с начальной стадией гниения, прилегающие к заболони. Это приводит к повышению плотности древесины на данных участках лесоматериала.

Цель наших исследований – выявление и анализ влияния сердцевинной гнили на здоровые заболонные и прилегающие к гнили участки.

Материал по определению физических и механических свойств древесины разных пород и гнили [1, 4, 6, 7 и др.] позволил выбрать наиболее рациональный способ исследования – стереометрический с использованием кернов [2, 9]. Применение его позволило проанализировать изменение плотности низкокачественной древесины (по радиусу, от сердцевины к периферии).

Для исследований плотности древесины березы, произрастающей в учебно-опытном лесхозе МарГТУ, с деревьев, пораженных сердцевинной гнилью, отбирали строго радиальные керны по радиусу ствола на высоте 1,3 м. Керны приводили в комнатно-сухое состояние.

На первом этапе керны делили с помощью лезвия ножа на две части по границе пораженного слоя. Из этих частей выделяли отрезки длиной 7 ... 12 мм. Их нумеровали (от 1 до 3) в порядке удаления от пограничного

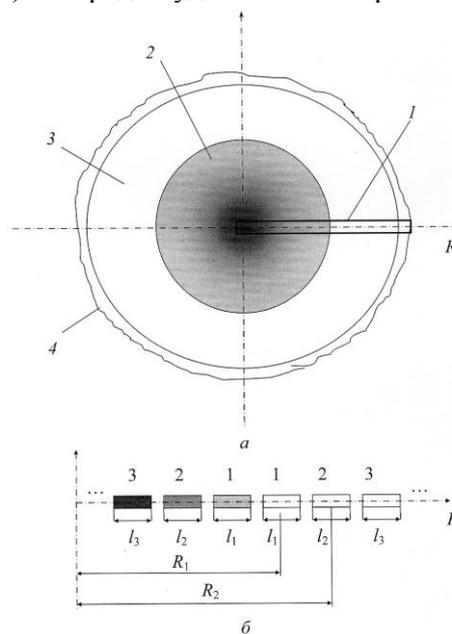


Рис. 1. Схемы расположения керна в стволе дерева (а) и разрезания керна на образцы (б): 1 – kern, 2 – гнилая древесина, 3 – заболонь, 4 – кора

слоя (рис. 1) [2]. Плотность ( $\text{кг/м}^3$ ) полученных образцов

$$\rho = m/V,$$

а с учетом объема керна:

$$\rho = m/(\pi \bar{d}^2 l),$$

где  $m$  – масса образца, кг;

$V$  – объем образца,  $\text{м}^3$ ;

$\pi = 3,14$ ;

$\bar{d}$  – средний диаметр керна, м;

$l$  – длина образца, м.

Экспериментальные данные для древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью, заносили в таблицу.

Наиболее целесообразна и унифицирована модель, структура которой основана на естественном законе изменения параметров, в частности на законе относительного (аллометрического) роста [3].

Аллометрический метод является частным случаем регрессионного анализа при использовании уравнения относительного роста в качестве выравнивающей функции:

$$Y = C + aX^B,$$

где  $Y, X$  – переменные факторы;

$a$  и  $C$  – константы начального состояния;

$B$  – константа равновесия, передающая темп изменения  $Y$  относительно  $X$ .

Для нашего случая изменение плотности древесины по радиусу в соответствии с аллометрическим законом изменения параметров:

$$\rho = \rho_0 \pm aL^b, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность древесины,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho_0$  – начальная плотность исследуемого участка керна,  $\text{кг/м}^3$ ;

$a, b$  – константы начального состояния и равновесия;

$L$  – расстояние по радиусу от оси исследуемого образца, м.

На наш взгляд, данная модель не позволяет адекватно охарактеризовать изменение плотности древесины, пораженной сердцевинной гнилью.

Порядковый номер образца	$R$ , мм	$m$ , г	$\rho$ , $\text{кг/м}^3$	Порядковый номер образца	$R$ , мм	$m$ , г	$\rho$ , $\text{кг/м}^3$
1	173,50	0,0650	501,3986	8	103,95	0,0718	480,0056
2	164,33	0,0731	505,5481	9	93,35	0,0752	493,3387
3	154,38	0,0702	505,4098	10	83,05	0,0726	514,7692
4	144,90	0,0662	505,1046	11	73,30	0,0657	480,4025
5	135,50	0,0667	487,7146	12	63,30	0,0650	438,7238
6	125,15	0,0765	483,7819	13	53,70	0,0526	419,5795
7	114,40	0,0700	472,4717				

Примечание.  $R$  – радиус ствола;  $m$  – масса образца.

Для повышения ее точности можно использовать кусочную аллометрию [8], т. е. составить уравнение (1) для характерных участков. Применительно к данным исследованиям необходимо раздельное описание математическими моделями здоровых участков древесины и участков, пораженных сердцевинной гнилью:

$$\begin{cases} \rho_{\text{п}} = \rho_{0\text{п}} \pm a_{\text{п}} L_{\text{п}}^{b_{\text{п}}}; \\ \rho_{\text{з}} = \rho_{0\text{з}} \pm a_{\text{з}} L_{\text{з}}^{b_{\text{з}}}, \end{cases} \quad (2)$$

где  $\rho_{\text{п}}, \rho_{\text{з}}$  – соответственно плотность пораженной гнилью и здоровой частей керна, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{0\text{п}}, \rho_{0\text{з}}$  – соответственно начальная плотность пораженной гнилью и здоровой частей исследуемого участка керна, кг/м<sup>3</sup>;

$a_{\text{п}}, a_{\text{з}}, b_{\text{п}}, b_{\text{з}}$  – соответственно константы начального состояния ( $a$ ) и равновесия ( $b$ ) пораженной гнилью и здоровой частей керна;

$L_{\text{п}}, L_{\text{з}}$  – расстояние по радиусу от оси исследуемого образца, пораженного гнилью, и здоровой его части, м.

Согласно (1) и (2), для участков здоровой древесины и участков, пораженных сердцевинной гнилью, имеем

$$a = (1/\psi)^b (\rho' - \rho_0); \quad b = \ln(\rho'' - \rho_0) / (\rho' - \rho_0) / \ln[(\psi + f)/\psi],$$

где  $\rho', \rho''$  – соответственно плотность древесины в двух местах замера по длине керна, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi, f$  – соответственно абсцисса места первого замера и расстояние между замерами плотности керна, м.

Согласно уравнению (1), исследуемая функция зависит от нескольких случайных аргументов. Математическое ожидание функции от произвольного числа случайных аргументов  $f(X_1, \dots, X_n)$ :

$$M \{f(x_1, \dots, x_n)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x_1, \dots, x_n) f(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n; \quad (3)$$

дисперсия:

$$D \{f(x_1, \dots, x_n)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} [f(x_1, \dots, x_n) - m_{\varphi}]^2 f(x_1, \dots, x_n) dx_1, \dots, dx_n, \quad (4)$$

где  $\varphi(x_1, \dots, x_n)$  – функция случайных элементов;

$f(x_1, \dots, x_n)$  – многомерная плотность распределения величин  $X_1, \dots, X_n$ .

Бесспорно, в общем случае найти  $M$  и  $D$  довольно сложно. Для этого чаще всего используют метод статистической линеаризации, основанный на разложении функции в ряд Тейлора в точке  $X_i = m_{x_i}$ , т. е. в окрестности математического ожидания  $X$ . При этом формула для определения математического ожидания имеет следующий вид:

$$M(x_{\langle n \rangle}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \sum_{i=1}^n \frac{\delta \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x_{\langle n \rangle}} M(x_i - m_{x_i}) + \dots \quad (5)$$

Если  $X_1, \dots, X_n$  – независимые случайные величины, то

$$M(x_{\langle n \rangle}) = \varphi(x_1, \dots, x_n) + \frac{1}{2} \sum \frac{\delta^2 \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x^2_{\langle n \rangle}} \Big|_{x = m_x} D(x_{\langle n \rangle}), \quad (6)$$

где  $D(x_{\langle n \rangle})$  – дисперсия в точке  $X = m_x$ .

Обычно отбрасывают и второй член равенства (6), тогда

$$M(x_{\langle n \rangle}) \approx \varphi(m_{x_1}, \dots, m_{x_n}). \quad (7)$$

Таким образом, выражение (1) будет иметь вид

$$m_\rho = m_{\rho_0} + m_a L^{m_b}, \quad (8)$$

где  $m_{\rho_0}, m_a, m_b$  – соответственно, математическое ожидание случайных величин  $\rho_0, a, b$ .

При этом

$$m_a = \left( \frac{1}{m_\psi} \right)^{m_b} m_{\rho'} m_{\rho_0}^{m_b};$$

$$m_b = \ln \frac{m_{\rho'} - m_{\rho_0}}{m_{\rho'} - m_{\rho_0} + m_f} \ln \frac{m_{\rho'} - m_{\rho_0}}{m_\psi + m_f} m_\psi, \quad (9)$$

где  $m_\psi, m_{\rho'}, m_{\rho_0}, m_f$  – соответственно математическое ожидание случайных величин  $\psi, \rho', \rho''$  и  $f$ .

Дисперсия

$$D(x_{\langle n \rangle}) \approx \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\delta \varphi(x_{\langle n \rangle})}{\delta x_i} \Big|_{x = m_x} \right]^2 D_{x_i}. \quad (10)$$

Следовательно, для получения дисперсии  $D(\rho)$  необходимо про дифференцировать (2) по  $\rho_0, \rho', \rho'', \psi$ , и  $f$ :

$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho_0} = 1 - \frac{1}{\psi} + \frac{1}{\psi} \frac{\rho' - \rho''}{\rho'' - \rho_0} \ln \frac{L}{\psi + f} \frac{1}{\psi};$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho'} = \frac{1}{\psi} - \frac{1}{\psi} \frac{1}{\ln \frac{L}{\psi + f}} \frac{1}{\psi};$$

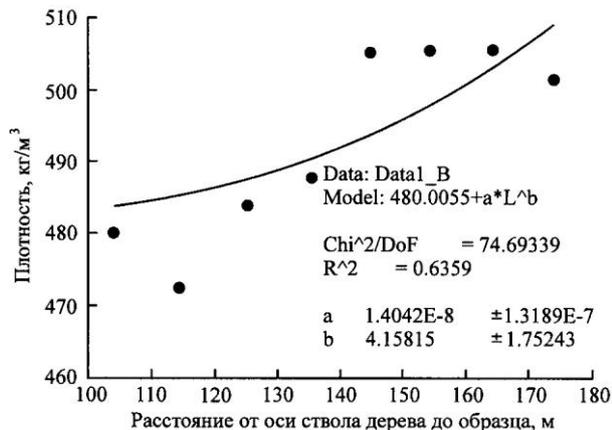
$$\frac{\delta \rho}{\delta \rho''} = \frac{1}{\psi} \frac{\rho' - \rho_0}{\rho'' - \rho_0} \ln \frac{L}{\psi + f} \frac{1}{\psi};$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta \psi} = - \frac{1}{\psi} \frac{f(\rho' - \rho_0) \ln \frac{\rho'' - \rho_0}{\rho' - \rho_0} \frac{\rho' - \rho_0}{\psi + f}}{\psi + f} \frac{1}{\psi^2} \times$$

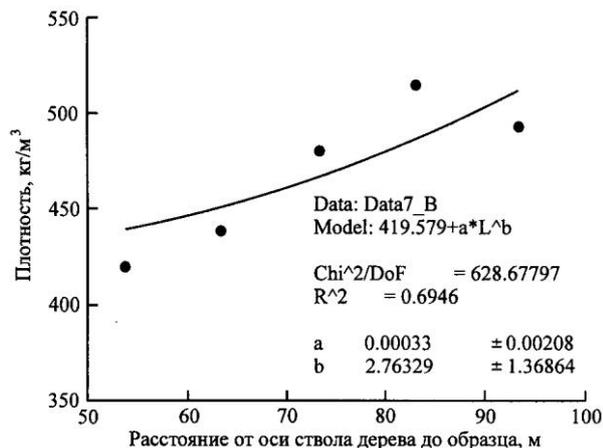
$$\times \ln \frac{L}{\psi} (\rho' - \rho_0) b \frac{1}{\psi} (1 + \psi^2);$$

$$\frac{\delta \rho}{\delta f} = - \frac{1}{\psi} \frac{f(\rho' - \rho_0) \ln \frac{\rho'' - \rho_0}{\rho' - \rho_0} \frac{\rho' - \rho_0}{\psi + f}}{\psi + f} \frac{1}{\psi^2} \ln \frac{L}{\psi}.$$

Далее, подставив их математические ожидания и дисперсии  $m_{\rho_0}, m_{\rho'}, m_{\rho''}, m_\psi, m_f, D_{\rho_0}, D_{\rho'}, D_{\rho''}, D_\psi, D_f$ , вычислим  $D(\rho)$ . С использо-



a



б

Рис. 2. Величины и кривые изменения плотности заболони древесины березы, пораженной сердцевинной гнилью (а), и пораженной гнилью части древесины березы (б)

ванием математических положений (1)–(11) разработана программа ALLOMPR, позволяющая исследовать предмет труда аллометрическим методом.

Обработку данных, полученных в результате экспериментальных исследований, проводили в среде Origin 6.1 и ALLOMPR (рис. 2).

Уравнение изменения плотности здоровой заболонной части древесины березы:

$$\rho = 480,0055 + 1,4042E - 8L^{4,15815}. \quad (12)$$

Максимальное отклонение теоретических данных (12) от фактических составляет 2,67 %.

Уравнение изменения плотности пораженной гнилью части древесины березы:

$$\rho = 419,5790 + 0,3300E - 3L^{2,76329}. \quad (13)$$

Максимальное отклонение теоретических данных (13) от фактических составляет 5,49 %.

Адекватность математических моделей (12), (13) доказана при условии однородности дисперсий и воспроизводимости [5].

#### Выводы

1. В древесине, пораженной сердцевинной гнилью, заболонь, не пораженная дереворазрушающим грибом и имеющая цвет здоровой древесины, не снижает своей плотности по сравнению с плотностью древесины, не пораженной сердцевинной гнилью.

2. Плотность древесины, прилегающей к заболони и имеющей светло-коричневый цвет (начальные стадии поражения дереворазрушающим грибом), выше, чем у заболонной древесины.

3. Плотность древесины темно-коричневого цвета резко снижается по мере приближения к оси лесоматериала (при достижении конечной стадии разрушения древесины).

4. Разделение низкокачественной древесины в соответствии с четырьмя стадиями процесса гниения [1] необходимо для возможного последующего применения древесины, имеющей поражения дереворазрушающими грибами на ранних стадиях.

5. На данном этапе исследований подтверждено предположение о повышении плотности прилегающих к гнили участков древесины, которое вызвано перераспределением весовых и ветровых нагрузок дерева по мере развития сердцевинной гнили.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вакин, Т.В. Пороки древесины [Текст] / Т.В. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 111 с.
2. Колесникова, А.А. Исследование свойств древесины по кернам [Текст] / А.А. Колесникова. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 178 с.
3. Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев [Текст] / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
4. Перельгин, Л.М. Влияние пороков на технические древесины [Текст] / Л.М. Перельгин. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 155 с.
5. Пижурин, А.А. Исследование процессов деревообработки [Текст] / А.А. Пижурин, М.С. Розенблит. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 104 с.
6. Полубояринов, О.И. Плотность древесины [Текст] / О.И. Полубояринов. – Л.: ЛТА, 1973. – 76 с.
7. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов [Текст] / В. Рипачек. – М.: Лесн. пром-сть, 1967. – 274 с.
8. Семечкина, М.Г. Структура фитомассы сосняков [Текст] / М.Г. Семечкина. – Новосибирск: Наука, 1978. – 165 с.

---

9. Уголев, Б.Н. О неразрушающих испытаниях древесины [Текст] / Б.Н. Уголев, В.Д. Никишев // Деревообраб. пром-сть. – 1966. – № 7. – С. 15–17.

Марийский государственный  
технический университет

Поступила 29.04.05

*A.S. Toropov, E.S. Sharapov*

**Study of Birch Wood Density Affected by Firm Red Heart**

The technique for experimental research of birch wood density affected by firm red heart is developed.

---