

634.976

13-31

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ БССР

БЕЛОРУССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

имени С. М. КИРОВА

---

*На правах рукописи*

630\*852

Д. Г. ВЕРЕТЕННИК

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
СКРЫТЫХ ПОРОКОВ ДРЕВЕСИНЫ  
МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАНИЯ  
РЕНТГЕНОВЫМИ  
И ГАММА-ЛУЧАМИ**

*АВТОРЕФЕРАТ*

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Научный руководитель—  
кандидат технических наук  
Д. К. ВОЕВОДА

МИНСК—1966

*На правах рукописи*

Д. Г. ВЕРЕТЕННИК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
СКРЫТЫХ ПОРОКОВ ДРЕВЕСИНЫ  
МЕТОДОМ ПРОСВЕЧИВАНИЯ  
РЕНТГЕНОВЫМИ  
И ГАММА-ЛУЧАМИ

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук*

Научный руководитель —  
кандидат технических наук  
Д. К. ВОЕВОДА

БИБЛИОТЕКА БТИ  
ИМЕНИ С. М. КИРОВА

МИНСК — 1966

1759/2 99.  
2/5571

Работа выполнена в Центральном научно-исследовательском и проектно-конструкторском институте механизации и энергетики лесной промышленности, ЦНИИМЭ, и Кировском научно-исследовательском и проектном институте лесной промышленности.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересующихся темой диссертации, принять участие в заседании Совета, на котором будет слушаться защита, или прислать свой отзыв в 2 экземплярах.

Защита состоится на заседании Ученого Совета Белорусского технологического института им. С. М. Кирова

14. декабря 1966 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института. Адрес института: г. Минск, ул. Свердлова, 13, Белорусский технологический институт. Телефон 2-37-34.

Ученый секретарь **Е. Н. Смольская.**

Дата отправки реферата: 20 октября 1966 г.

XXIII съезд КПСС поставил перед работниками промышленности задачу всемерного повышения эффективности общественного производства, ускорения темпов производительности труда, повышения качества продукции.

Претворение в жизнь этой задачи для лесозаготовителей означает повседневно повышение комплексной механизации и автоматизации лесозаготовок, совершенствование технологии и организации производства, повышение выхода деловой древесины.

Раскряжевка хлыстов — заключительная фаза производства, так как здесь определяется товарный выход продукции. Повышение выхода деловой древесины приводит к снижению себестоимости продукции и является важнейшим резервом рентабельной работы предприятия.

Одной из причин выпуска леспромпхозами продукции низкого качества является сильное отставание способов разметки хлыстов при раскряжевке от общего технического уровня развития лесозаготовок. Механизация и автоматизация лесозаготовок коренным образом изменила технологию раскряжевки хлыстов. Эта операция теперь осуществляется при помощи высокопроизводительных агрегатов и полуавтоматических линий. Несмотря на это, способы оценки качества древесины хлыста остались без изменения, т. е. автоматизированный процесс разделки хлыстов сочетается с визуальной оценкой качества древесины. Последнее приводит к уменьшению выхода деловых и высококачественных сортиментов и к снижению производительности полуавтоматических линий.

Стремление к увеличению производительности линий приводит к обезличенному (слепому) методу раскряжки хлыстов, а это еще больше уменьшает выход деловой древесины и снижает ее сортность. При таком раскряжке совершенно не учитывается влияние пороков на качество сортимента. Очевидно, что для высокопроизводительных машин на раскряжевке хлыстов должны быть разработаны объективные способы оценки качества древесины.

В ряде случаев для лесохозяйственных целей требуется определять степень загнивания растущих деревьев, где также следует иметь объективные методы определения качества древесины.

Необходимо отметить, что для определения и учета основных скрытых пороков древесины в настоящее время нет не только бесспорных объективных, а и вообще достаточно надежных методов. Поэтому качество древесины определяется субъективно.

В ряде же отраслей промышленности для обнаружения дефектов изделий успешно используются объективные физические методы: магнитный, люминесцентный, ультразвуковой и рентгено- и гамма-просвечивания.

Придавая большое значение вопросу объективного определения качества древесины, Совет Министров СССР в постановлении от 20 ноября 1961 г. обратил внимание на важность проведения научно-исследовательских работ в этом направлении.

В данной работе предусматривалось:

Определить возможность объективного обнаружения внутренних пороков древесины с помощью просвечивания рентгеновыми и гамма-лучами.

Провести теоретические и экспериментальные исследования по определению зависимостей ослабления пучка рентген- и гамма-лучей древесиной различной плотности, толщины и влажности.

Дать основные зависимости для определения энергии и начальной интенсивности радиоактивного излучения при просвечивании древесины различной толщины и объемного веса.

Все исследования изложены в диссертационной работе, состоящей из введения, семи глав, выводов и приложений.

**В первой главе** — «Обзор и оценка выполненных работ по дефектоскопии древесины» — дан критический анализ работ по рентгено- и гамма-дефектоскопии древесины, выполненных в Советском Союзе и за рубежом. На основании проведенного анализа установлено, что данный вопрос применительно к просвечиванию древесины является недостаточно изученным.

**Во второй главе** — «Основные положения методики исследования» — намечены конкретные вопросы, подлежащие изучению, освещаются методы проведения теоретических и экспериментальных исследований по всем поставленным в данной диссертации вопросам.

**В третьей главе** — «Теоретические предпосылки определения внутренних пороков древесины методом просвечивания рентгеновыми и гамма-лучами» — приводятся характеристи-

ки основных пороков древесины и требования к ее качеству; производится выбор методов и способов для определения скрытых пороков; излагаются основные аналитические предпосылки метода рентген- и гамма-дефектоскопии; выводятся теоретические зависимости для определения плотности абсолютно сухой, водонасыщенной и влажной древесины методом просвечивания рентгеновыми и гамма-лучами по эталону плотности; рассматривается точность измерений плотности древесины ионизационным методом гамма-просвечивания.

Все пороки древесины, которые вызывают отклонения от нормы, разделяются на две группы:

- а) изменяющие плотность или объемный вес;
- б) изменяющие окраску.

Большинство пороков вызывают одновременно обе группы отклонений. При этом, некоторые пороки влияют на изменение плотности древесины как в сторону ее увеличения, так и в сторону уменьшения. Например, здоровые сучья увеличивают плотность, внутренние гнили, рыхлые и табачные сучья — уменьшают.

Анализируя предъявляемые стандартами требования к качеству различных сортиментов, можно убедиться, что главное значение имеют такие пороки, как сучья и внутренние гнили. Таким образом, для определения главных сортобразующих пороков, находящихся внутри древесины, могут быть использованы средства, позволяющие определить отклонения в плотности и целостности ее.

Другой особенностью определения качества древесины является то, что согласно действующим стандартам на сортименты, наличие допустимых пороков ограничивается определенными пределами — обычно размерами и количеством пороков на 1 погонный метр. При автоматизации определения качества древесины необходимо все пороки охарактеризовать по плотности в максимально допустимой площади, поврежденной пороками на одном погонном метре. При этом максимально допустимая площадь может быть выражена как одним пораженным участком, так и суммой мелких пораженных площадей, расположенных на той же единице длины.

Автоматизация определения качества древесины при разделке хлыстов на стационарных агрегатах требует создания непрерывно действующей системы, позволяющей по отклонениям от нормы плотности производить оценку ее качества. Система должна определять участки длины бревна или хлыста с имеющимися допустимыми пороками в пределах установленных ограничений для того или другого сортимента, и выбраковывать участки с наличием недопустимых пороков.

В результате выполненного нами анализа методов и способов дефектоскопии материалов установлено, что для древесины наиболее приемлемым является ионизационный метод рентгено- и гамма-дефектоскопии. В качестве детекторов радиоактивного излучения целесообразно применять галогенные и сцинтиляционные счетчики, так как они обладают достаточно высокой эффективностью, разрешающей способностью и максимальной скоростью счета импульсов, а также позволяют осуществлять автоматизацию данного процесса. При применении рентгеновых и гамма-лучей для дефектоскопии древесины в зависимости от плотности и толщины ее излучение ослабляется в различной степени. Пучок рентгено- или гамма-лучей, прошедший через древесину меньшей плотности (в месте нахождения дефекта), имеет на выходе большую интенсивность, чем соседние пучки излучения, прошедшие через бездефектные участки. По результатам измерения интенсивности отдельных пучков лучей определяют внутреннее состояние материала, т. е. наличие в нем дефектов.

Закон ослабления узкого параллельного монохроматического пучка гамма-лучей в веществе однородного химического состава выражается известной из атомной физики экспоненциальной зависимостью  $J = J_0 e^{-\mu x}$ , (1)

где  $J_0$  и  $J$  — соответственно интенсивности первоначального и ослабленного пучка гамма-лучей;

$x$  — толщина вещества в см;

$\mu$  — постоянный коэффициент, характеризующий величину ослабления гамма-лучей данной энергии при прохождении одного сантиметра вещества.

Коэффициент  $\mu$  называется линейным коэффициентом ослабления и складывается из трех основных слагаемых:

$$\mu = \tau + \sigma_k + \kappa, \quad (2)$$

где  $\tau$  — коэффициент фотоэлектрического поглощения;

$\sigma_k$  — коэффициент рассеяния;

$\kappa$  — коэффициент образования пар.

Вместо линейного коэффициента поглощения в практике более удобно пользоваться массовым коэффициентом поглощения

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho} \frac{\text{см}^2}{\text{г}}, \quad (3)$$

где  $\rho$  — плотность вещества в  $\text{г}/\text{см}^3$ .

Линейные коэффициенты поглощения гамма-излучения при условии, что отношение порядкового номера к массо-

вому числу вещества  $\frac{Z}{A} = 0,5$  будут пропорциональны плотности вещества. Зная  $\mu_1$  для одного вещества, можно определить  $\mu_2$  для другого по формуле:

$$\mu_2 = \mu_1 \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad (4)$$

Если отношение  $Z:A$  равно 0,5, то формула (4) дает результат близкий к истинному.

В табл. 1 даны расчетные значения соотношений  $Z:A$  для древесины и ряда других основных химических элементов и соединений.

Таблица 1

Вещество	$\frac{Z}{A}$	Вещество	$\frac{Z}{A}$
Углерод . . . . .	0,5	Вода . . . . .	0,55
Кислород . . . . .	0,5	Кремний . . . . .	0,50
Водород . . . . .	1,0	Алюминий . . . . .	0,48
Древесина . . . . .	0,52		

Для материала сложного химического состава, к которому относится древесина, значения массового коэффициента ослабления  $\mu'$  можно представить в следующем виде:

$$\mu' = \frac{\mu}{\rho} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot \frac{\mu_i}{\rho_i} \quad (5)$$

где  $\sum_{i=1}^n a_i = a_1 + a_2 + a_3 \dots + a_n = 1$ ;

$\frac{\mu_i}{\rho_i}$  — массовые коэффициенты различных составных частей материала;

$a_1 \dots a_n$  — доля каждого из элементов в единице объема вещества.

Приведенные положения относятся к случаю, когда поток излучения строго коллимирован, а излучение может считаться монохроматическим.

Для узкого пучка немонохроматического излучения справедлив тот же закон, что и для монохроматического, но в этом случае необходимо рассматривать эффективный коэффициент поглощения  $\mu_{эфф.}$ , который в отличие от  $\mu'$  зависит не только от рода вещества и энергии излучения, но и от толщины слоя поглощения.

В случае, если точный химический состав поглощающего вещества неизвестен, то определение коэффициента поглоще-

ния гамма-лучей в данном веществе производится экспериментально.

В химический состав древесины входят, в основном, три элемента: углерод, кислород и водород. Для этих элементов в интервале энергий от 100 кэв до 3 мэв полностью можно пренебречь фотоэффектом и процессом образования пар, т. е.  $\mu \approx \sigma_k$ .

Так как  $\sigma_k$ , а следовательно и  $\mu$  для химических элементов, входящих в состав древесины, находится в линейной зависимости от соотношения порядковых номеров  $Z$  и массовых чисел  $A$  элементов, то это положение нами было использовано для экспериментально-аналитического метода определения плотности древесины по установленному эталону плотности. За эталон плотности нами была принята вода, массовые коэффициенты поглощения рентгеновых и гамма-лучей которой хорошо исследованы. Таким путем были определены массовые коэффициенты поглощения рентген-и гамма-лучей для абсолютно сухой древесины.

Скелет древесины образуют те же, что и воду, химические элементы за исключением углерода. Поэтому искомую плотность древесины можно определять путем сопоставления ее с эталонной плотностью  $\rho_3$  (для воды), учитывая поглощающую способность древесины при просвечивании ее гамма-лучами. При этом считаем, что

$$\rho_3 X_3 = \rho_i X_i \quad (6)$$

$$J = J_0 e^{-\mu'_3 \cdot \rho_3 \cdot X_3} \quad (7)$$

$$\frac{Z_3}{A_3} = \frac{Z_i}{A_i} \quad (8)$$

Эквивалентная толщина эталона из уравнения (7) будет равна:

$$X_3 = \frac{\ln J_0 - \ln J}{\mu'_3 \rho_3} \quad (9)$$

где  $\mu'_3 = \frac{\mu_3}{\rho_3}$  — массовый коэффициент поглощения эталона.

Из равенства (6) с учетом равенств (8) и (9) найдем искомую плотность древесины:

$$\rho_i = \frac{\ln \frac{J_0}{J}}{\mu'_3 \cdot X_i} \quad (10)$$

Если  $\frac{Z_3}{A_3} \neq \frac{Z_i}{A_i}$ , то для определения  $\rho_i$  правую часть равенства (10) необходимо умножить на коэффициент  $K$ .

$$\rho_i = \frac{\ln \frac{J_0}{J}}{\mu_3 \cdot X_3} \cdot K, \quad (11)$$

где величина  $K$  может быть  $K > 1$  или  $K < 1$ .

Величина  $K$  определяется из соотношения:

$$K = \frac{Z_3 \cdot A_i}{A_3 \cdot Z_i} m + \frac{Z_3 \cdot A_j}{A_3 \cdot Z_j} n + \dots, \quad (12)$$

где  $m$  и  $n$  — содержание компонентов, составляющих вещество в долях по весу.

Определим коэффициент  $K$  для наших условий

$$\frac{Z_3}{A_3} = \frac{Z_{\text{O}}}{A_{\text{O}}} \cdot \frac{8}{9} + \frac{Z_{\text{H}}}{A_{\text{H}}} \cdot \frac{1}{9} = 0,5549$$

$$\frac{Z_{\text{др}}}{A_{\text{др}}} = \frac{Z_{\text{C}}}{A_{\text{C}}} \cdot 0,496 + \frac{Z_{\text{O}}}{A_{\text{O}}} \cdot 0,442 + \frac{Z_{\text{H}}}{A_{\text{H}}} \cdot 0,062 = 0,52,$$

где:  $Z_{\text{C}}$ ,  $A_{\text{C}}$ ,  $Z_{\text{O}}$ ,  $A_{\text{O}}$ ,  $Z_{\text{H}}$ ,  $A_{\text{H}}$  — порядковые номера и атомный вес углерода, кислорода и водорода;

$\frac{8}{9}$  и  $\frac{1}{9}$  — соответственно доля кислорода и водорода в молекулярном весе воды;

0,496; 0,442; 0,062 — соответственно доля углерода, кислорода и водорода в атомном весе древесины.

Тогда

$$K = \frac{Z_3 \cdot A_{\text{др}}}{A_3 \cdot Z_{\text{др}}} = \frac{0,5549}{0,52} = 1,067$$

Следовательно, массовый коэффициент поглощения рентгеновых и гамма-лучей для древесины будет равен:

$$\mu'_{\text{др}} = \frac{\mu'_{\text{H}}}{1,067} \quad (13)$$

Массовые коэффициенты поглощения рентгеновых и гамма-лучей для абсолютно сухой древесины, вычисленные по формуле (13), приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п.	Энергия квантов, мэв	Массовый коэффициент поглощения эталона, (воды) см <sup>2</sup> /г	Массовый коэффициент поглощения для древеси- ны, $\mu' = \frac{\mu'_э}{1,067}$ см <sup>2</sup> /г
1	0,08	0,178	0,166
2	0,1	0,167	0,157
3	0,15	0,149	0,140
4	0,20	0,136	0,1274
5	0,30	0,118	0,1106
6	0,40	0,106	0,0992
7	0,50	0,0966	0,0905
8	0,60	0,0896	0,0840
9	0,80	0,0786	0,0737
10	1,0	0,0706	0,0661
11	1,5	0,0675	0,0539

Для предварительного определения источника излучения необходимо знать количество поглощенных гамма-лучей древесиной в зависимости от ее толщины и плотности. Из выражения (11) с учетом выражения (6) получим:

$$\ln \frac{J_0}{J} = \frac{1}{K} \cdot \rho_{др} \cdot \mu'_э \cdot X_{др} \quad (14)$$

или

$$\ln \frac{J_0}{J} = \mu'_{др} \cdot R_{др} \quad (15)$$

где  $R_{др} = \rho_{др} \cdot X_{др}$

Используя уравнение (15), нами произведен расчет и даны зависимости относительного ослабления гамма- и рентген-лучей древесиной различной плотности и толщины для энергий излучения в интервале от 80 кэв до 1 мэв (рис. 1). Для того чтобы иметь одну кривую для каждой энергии излучения, расчеты произведены по поверхностной плотности древесины  $R_{др} = \rho_{др} \cdot X_{др}$  г/см<sup>2</sup>.

Наличие приведенных графических зависимостей позволяет сравнительно просто находить ослабление гамма-лучей древесиной различной толщины и объемного веса, а затем определить необходимую интенсивность источника излучения.

Древесина в естественных условиях может иметь различную влажность. Для определения плотности скелета древесины в водонасыщенном состоянии по ослаблению пучка гамма- и рентгеновых лучей в диссертации дается выведенное нами уравнение, имеющее вид:

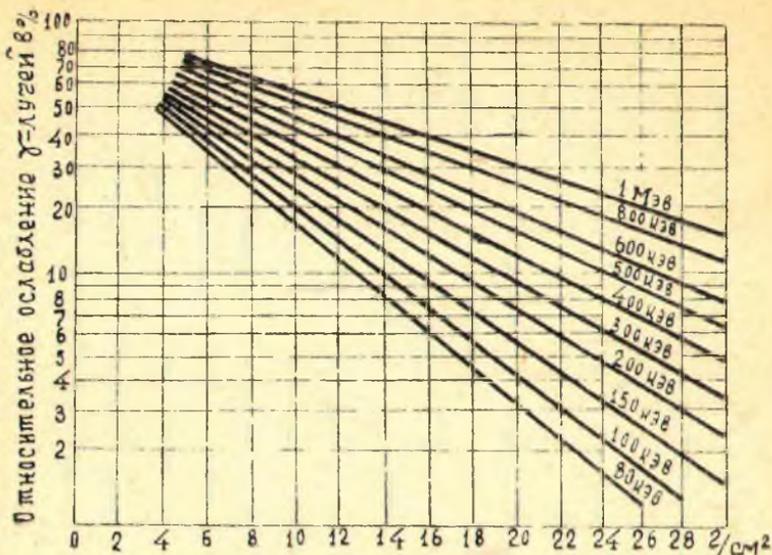


Рис. 1. Зависимость относительного ослабления монохроматического пучка гамма-лучей от поверхностной плотности древесины.

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{\ln \frac{J_0}{J} - \mu'_B X}{\left( \mu'_{\text{ск}} - \frac{\mu'_B}{d} \right) \cdot X} (1 + K_0 Q_r), \quad (16)$$

где  $\mu'_B$  и  $\mu'_{\text{ск}}$  — соответственно массовые коэффициенты поглощения для воды и скелета древесины;  
 $d$  — удельный вес древесины;  
 $K_0$  — коэффициент объемного расширения древесины;  
 $Q_r$  — доля гигроскопической воды в древесине.

В основном древесина находится в трехфазном состоянии, т. е. поры ее заполнены водой неполностью. В этом случае уравнение для определения плотности скелета древесины будет иметь следующий вид:

$$\rho_{\text{ск}} = \frac{\ln \frac{J_0}{J} (1 + K_0 Q_r)}{(\mu'_{\text{ск}} + W \cdot \mu'_B) \cdot X} \quad (17)$$

Из уравнения (17) видно, что для определения плотности скелета древесины, находящейся в трехфазном состоянии, методом просвечивания рентгеновыми или гамма-лучами необходимо знать естественную влажность ее  $W$ . Определение

влажности решается с помощью спектроскопии или методом комплексного просвечивания нейтронным и гамма-излучением.

Уравнение падения интенсивности гамма-излучения при просвечивании влажной древесины может быть выражено так:

$$J = J_0 \cdot e^{-(\mu'_{ск} \cdot \rho'_{ск} + \mu'_в \cdot w \cdot \rho'_{ск}) X} \quad (18)$$

где  $\rho'_{ск}$  является условным объемным весом древесины

$$\rho'_{ск} = \frac{\rho}{1 + K_0 Q_T}$$

На основании уравнения (18) с применением метода спектроскопии при просвечивании древесины радиоактивным излучением двух разных энергий  $E_1$  и  $E_2$  уравнения падения интенсивности излучения будут иметь вид:

$$J_1 = J_{01} \cdot e^{-(\mu'_{ск} \cdot \rho'_{ск} + \mu'_в w \rho'_{ск}) X} \quad (19)$$

$$J_2 = J_{02} \cdot e^{-(\mu''_{ск} \rho'_{ск} + \mu''_в w \rho'_{ск}) X}$$

где  $J_{01}$  и  $J_{02}$  — начальная интенсивность излучения с энергией  $E_1$  и  $E_2$ ;

$J_1$  и  $J_2$  — соответственно интенсивность излучения после прохождения через древесину.

$\mu'_{ск}$ ,  $\mu'_в$ ,  $\mu''_{ск}$ ,  $\mu''_в$  — массовые коэффициенты поглощения гамма-лучей с энергией  $E_1$  и  $E_2$ .

Решая систему (19), находим уравнение для определения влажности древесины.

$$w = \frac{\ln \frac{J_{01}}{J_1} \mu''_{ск} - \ln \frac{J_{02}}{J_2} \mu'_{ск}}{\ln \frac{J_{02}}{J_2} \mu'_в - \ln \frac{J_{01}}{J_1} \mu''_в} \quad (20)$$

Вычисление влажности по уравнению (20) необходимо делать с точностью до четвертого-пятого знака, так как операции производятся с очень малыми числами.

**В четвертой главе** — «Экспериментальные исследования» — приведены данные экспериментов по просвечиванию образцов древесины и воды рентгеновыми лучами и гамма-лучами радиоактивного изотопа  $Tu-170$ . При этом были поставлены следующие эксперименты:

1. Исследование однородности структуры древесины.

а) для одной породы;

б) для четырех пород: сосны, ели, осины и березы.

2. Определение зависимости ослабления рентгеновых- и гамма-лучей  $\text{Tu-170}$  от плотности и толщины абсолютно сухой древесины.

3. Определение массовых коэффициентов ослабления рентгеновых лучей с энергией  $E_{\text{max}} = 100$  кэВ для воды при данной геометрии опыта.

4. Определение влияния рассеянного излучения и ширины пучка излучения на точность экспериментальных данных.

5. Определение зависимости ослабления рентгеновых и гамма-лучей  $\text{Tu-170}$  от влажности древесины.

6. Определение разности объемных весов здоровой и гнилой древесины в свежесрубленных или растущих деревьях.

7. Определение влияния влажности на разность объемных весов здоровой древесины и древесины с различными стадиями гнили в свежесрубленных или растущих деревьях.

При проведении экспериментов получены закономерности между падением интенсивности излучения и изменением плотности и толщины древесины, находящейся в сухом и влажном состояниях.

В качестве источника излучения использовались рентгеновская установка РУМ-4 и гамма-установка ГУП-Ту-0,5. В качестве регистрирующей измерительной аппаратуры применялись двенадцатиканальная дозиметрическая установка УСИД-12 и пересчетная установка Б-2. В качестве индикаторов были галогенные счетчики  $\text{Si13G}$  и фотоэлектронный умножитель ФЭУ-19.

Так как рентгеновская трубка питалась переменным напряжением с  $U_{\text{max}} = 100$  кВ и спектр излучения был сплошным и непрерывным, при проведении экспериментов по просвечиванию образцов древесины пучок рентгеновского излучения предварительно фильтровался специальными стальными пластинами. Толщина стального фильтра была 7 мм. Минимальная энергия квантов фильтрованного пучка излучения равна 50 кэВ, а максимальная—100 кэВ. При этом эффективная энергия пучка квантов достигала 85 кэВ.

Для проведения экспериментальных исследований были взяты четыре основных породы древесины: береза, осина, сосна и ель. Из здоровой и гнилой древесины свежесрубленных деревьев этих пород заготавливались образцы размерами от 10 x 100 x 100 мм до 100 x 100 x 100 мм с градацией через 10 мм. Образцы из гнилой и здоровой древесины отбирались с одного и того же дерева и с одного погонного метра ствола. Количество образцов и число измерений устанавливались исходя из требований ГОСТ 6336-52 «Методы физико-механи-

ческих испытаний древесины». При этом предварительно определялось количество опытов из условия, что коэффициент вариации объемного веса древесины равен 20%. В ходе экспериментов это условие уточнялось и вносились соответствующие поправки.

Заготовленные образцы подвергались анализу с определением необходимых физико-механических показателей (объемный вес, влажность). Затем образцы просвечивались рентгеновыми или гамма-лучами. После первого просвечивания образцы высушивались в сушильных шкафах до абсолютно сухого веса с 5—6 промежуточным обмериванием их, взвешиванием и просвечиванием. Экспериментальные данные обрабатывались методами вариационной статистики. Результаты экспериментов приведены в работе в виде таблиц или графиков.

Для определения пороков древесины просвечиванием рентгеновыми или гамма-лучами необходимо установить, достаточно ли однородной является здоровая древесина по атомной структуре в зависимости от формы древесной породы, возраста ее, условий произрастания и других лесоводственных факторов. Кроме этого, необходимо выяснить, обладает

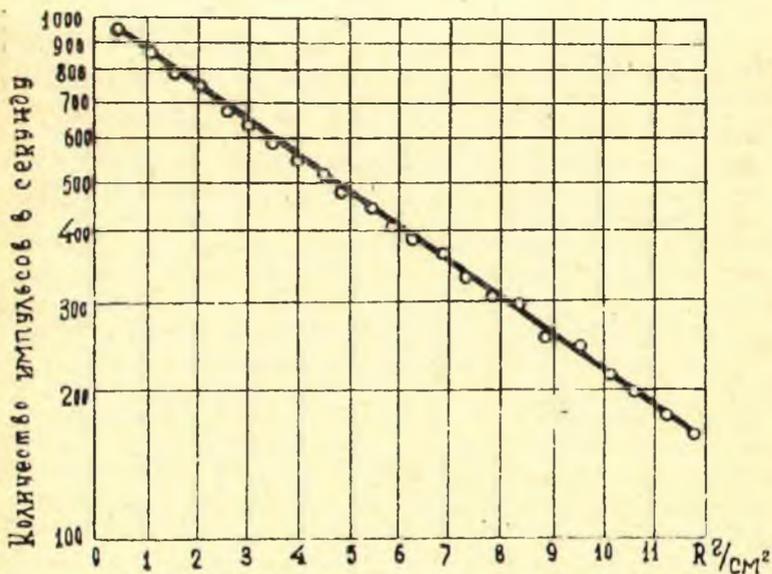


Рис. 2. Зависимость ослабления рентгеновых лучей от поверхностной плотности древесины четырех пород: сосны, ели, осины и березы.

ли здоровая древесина в зависимости от ее породы какими-либо особыми свойствами, влияющими на ослабление рентгеновых лучей.

Для ответа на первый вопрос брались 22 образца обыкновенной сосны размером 10 x 100 x 100 мм, складывались один на другой и по мере добавления каждого образца просвечивались рентгеновыми лучами. Интенсивность излучения регистрировалась после каждого добавленного образца. Опыт проделывался 3 раза. Аналогичные испытания были проведены с образцами обыкновенной березы и осины. Результаты опытов показали на постоянство атомной структуры древесины для всех исследуемых нами пород.

Во второй группе опытов брались 24 образца размером  $10 \times 100 \times 100$  мм из четырех пород древесины (сосны, ели, осины, березы)—по шесть образцов каждой. Образцы накладывались один на другой в следующей последовательности: сосна, ель, осина, береза. Просвечивание образцов выполнялось как и в первом опыте. По результатам экспериментов получилась опытная закономерность между  $\ln J$  и поверхностной плотностью древесины  $R = X \cdot \rho$  г/см<sup>2</sup> в виде прямой для всех исследуемых пород. Это доказывает, что порода древесины не влияет на ослабление пучка лучей (рис. 2).

Аналогичные зависимости получены и в первом опыте при просвечивании каждой породы в отдельности (ель, сосна, береза, осина).

Проведенные исследования доказывают, что ослабление пучка рентгеновых лучей зависит от объемного веса и толщины просвечиваемой древесины и не зависит от ряда других факторов.

Для определения зависимостей ослабления рентгеновых лучей от плотности и толщины древесины было просвечено 187 образцов, заготовленных из четырех пород: сосны, ели, осины и березы. Одновременно определялись зависимости ослабления пучка рентгеновых лучей от толщины просвечиваемого слоя воды.

Вначале опыты проводились без коллимации регистрируемого пучка излучения. Экспериментальные данные при этом не дают достаточно устойчивой закономерности в изменении интенсивности излучения и отличаются от теоретических данных на 13—15%. Такое расхождение происходило из-за влияния рассеянного излучения и статистического разброса. Однако уже и эти опыты свидетельствуют о справедливости теоретических основ определения плотности древесины по эталону (в нашем случае вода), если принимать коэффициент

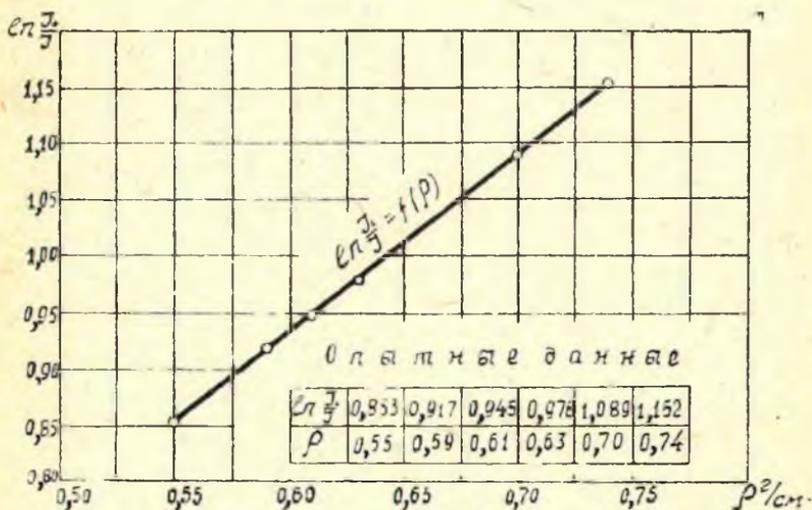
ослабления эталона таким, каким он получился в наших опытах. Так, массовый коэффициент ослабления для воды получился 1,533—0,1547, для древесины — 0,1403—0,1423.

Коэффициент  $K$  — отношение  $\frac{\mu_v}{\mu_{др}}$  равен 1,094 или на 2,5% отличается от полученного теоретическим путем (1,067), что хорошо согласуется с принятыми нами теоретическими предпосылками об эталоне плотности.

Влияние рассеянного излучения значительно уменьшается с применением двойной коллимации регистрируемого пучка излучения. При этом экспериментально установлено, что оптимальный диаметр щели диафрагмы равен 8 мм.

Опытные массовые коэффициенты ослабления при просвечивании образцов древесины и воды рентгеновыми лучами с двойной коллимацией регистрируемого пучка излучения и диаметром щели диафрагмы равном 8 мм получились для сухой древесины 0,1554 см<sup>2</sup>/г, для воды — 0,1654 см<sup>2</sup>/г и отличаются от теоретических на 4—5%. Значение коэффициента  $K = \frac{\mu_v}{\mu_{др}}$  отличается от полученного теоретически на 0,3%.

Опытные данные по просвечиванию рентгеновыми лучами образцов сухой березовой древесины толщиной 10 см приведены на рис. 3.



Р и с. 3. Опытная зависимость  $\ln \frac{J_0}{J} = f(\rho)$  для сухой березовой древесины толщиной 10 см при просвечивании рентгеновыми лучами с двойной коллимацией пучка излучения.

Аналогичные зависимости получены при просвечивании древесины из ели, осины и сосны. Опыты показали, что поглощение рентгеновых лучей изменяется пропорционально объемному весу древесины.

Для определения плотности влажной древесины методом просвечивания рентгеновыми лучами были подобраны 70 образцов со свежесрубленных деревьев сосны, ели, осины и березы. Согласно методике, определялся объемный вес образцов и производилась их просвечивание. После первого просвечивания образцы подсушивались и опыт с ними повторялся 12 раз до полного высушивания. Затем образцы увлажнялись и просвечивание повторялось снова до полного водонасыщения их.

Результаты опытов приведены графически на рис. 4.

Из графика следует, что при наличии влаги в древесине от 0 до 30% ослабление пучка рентгеновского излучения увеличивается незначительно, а с увеличением более 30% ослаб-

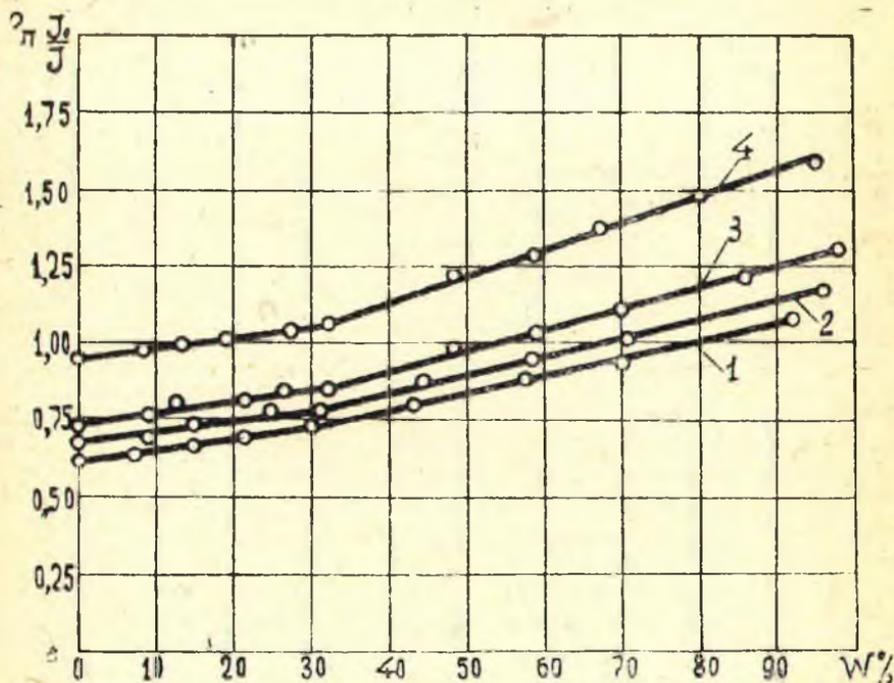


Рис. 4. Зависимость  $\ln \frac{J_0}{J} = f(w)$  для образцов древесины:  
1 — сосны, 2 — ели, 3 — осины, 4 — березы.

ление интенсивности излучения возрастает пропорционально содержанию влаги.

Просвечивание образцов древесины производилось также гамма-лучами радиоактивного изотопа  $Tu-170$ . Для определения зависимостей ослабления гамма-лучей  $Tu-170$  от плотности и толщины просвечиваемой древесины были исследованы образцы четырех пород (ель, сосна, осина, береза). Массовый коэффициент ослабления гамма-лучей  $Tu-170$ , полученный экспериментальным путем, для всех исследуемых пород древесины при толщине просвечивания 10 см получился достаточно постоянным и равнялся  $0,191 \text{ см}^2/\text{г}$ . С увеличением толщины просвечиваемой древесины массовый коэффициент ослабления уменьшается (табл. 3).

Таблица 3

Толщина на просвечивания в см	Время измерения в сек.	N имп.	J имп. сек.	$\frac{J_0}{J}$ в %	$\mu'$	Относительная ошибка в %
1	5	9966	1793	89,6	0,191	1,00
2	5	7872	1574	78,7	0,196	1,13
3	5	7014	1403	70,1	0,193	1,19
5	5	5651	1130	56,5	0,192	1,33
7	6	5356	893	44,6	0,190	1,36
10	10	6337	634	31,7	0,188	1,26
15	20	7248	362	18,1	0,185	1,18
20	25	5378	215	10,7	0,183	1,36
25	40	5030	126	6,3	0,181	1,41
30	60	4335	72	3,6	0,181	1,52

Это уменьшение коэффициента ослабления при увеличении толщины древесины от 1 до 30 см в опытах составило  $6,6\%$ , соответственно с  $0,196$  до  $0,181 \text{ см}^2/\text{г}$ . Последнее объясняется наличием в изотопе  $Tu-170$  тормозного излучения с энергиями  $0,053$  и  $0,01$  мэв, доля которого с увеличением толщины просвечиваемой древесины уменьшается, а эффективная энергия приближается к энергии основного гамма-излучения, равной  $0,084$  мэв.

Для определения наличия разности объемного веса здоровой и гнилой свежесрубленной древесины были проведены отдельные эксперименты. Для этого обследовали 107 полуделовых деревьев, в том числе 36 ели, 37 березы и 34 осины. Из каждого ствола дерева заготавливались образцы из здоровой и гнилой древесины. Заготовка образцов производилась в пределах одного и того же погонного метра ствола.

Таким образом было взято 1673 образца; их размеры 50 x 50 x 50 мм. У всех образцов определялся объемный вес с точностью до 0,01 г/см<sup>3</sup>. Затем они высушивались в сушильных шкафах до абсолютно сухого состояния, взвешивались и определялась влажность каждого образца с точностью до 0,1%. Полученные данные обрабатывались методом вариационной статистики. Средние значения объемного веса и влажности образцов здоровой и гнилой древесины приведены в табл. 4.

Таблица 4

№	Состояние древесины					
	здоровая		с I стадией гнили		со II и III стадиями гнили	
	ρ г/см <sup>3</sup>	w%	ρ г/см <sup>3</sup>	w%	ρ г/см <sup>3</sup>	w%
1	2	3	4	5	6	7
<b>Е л ь</b>						
1	0,5	40	0,52	45	0,31	56
2	0,53	37	0,55	49	0,34	52
3	0,57	46	0,56	55	0,34	62
4	0,62	46	0,56	60	0,36	120
5	0,65	48	0,58	51	0,39	67
6	0,69	78	0,59	63	0,39	67
7	0,70	64	0,60	72	0,40	88
8	0,73	72	0,60	64	0,41	80
9	0,74	79	0,61	72	0,44	115
10	0,75	80	0,63	76	0,45	96
11	0,82	84	0,70	88	0,46	100
12	0,69	91	0,71	96	0,50	100
Средние значения						
	0,67	64	0,60	66	0,40	84
<b>Б е р е з а</b>						
13	0,86	78	0,98	83	0,47	47
14	0,86	74	0,98	72	0,51	48
15	0,89	63	1,00	80	0,53	46
16	0,99	76	1,08	81	0,69	65
17	0,90	50	1,05	87	0,59	52
18	0,90	57	0,99	91	0,62	63
19	0,81	60	0,91	90	0,41	57
20	0,75	42	0,86	110	0,39	68
21	0,80	59	0,88	97	0,40	50
22	0,72	49	0,84	102	0,38	72
23	0,70	51	0,84	92	0,36	83
24	0,81	55	0,94	88	0,43	88
25	0,90	78	0,99	115	0,67	91
Средние значения						
	0,84	61	0,95	91	0,50	64

№	Состояние древесины					
	здоровая		с I стадии гнили		со II и с III стадиями гнили	
	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	W %	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	W %	$\rho$ г/см <sup>3</sup>	W %
1	2	3	4	5	6	7
<b>О с и н а</b>						
26	0,61	61	0,67	89	0,32	54
27	0,66	91	0,72	77	0,39	59
28	0,75	112	0,79	109	0,48	58
29	0,76	110	0,82	87	0,55	64
30	0,62	67	0,68	101	0,37	72
31	0,57	49	0,64	92	0,30	67
32	0,68	88	0,74	110	0,41	47
33	0,71	98	0,76	126	0,44	81
34	0,73	98	0,76	118	0,46	79
35	0,59	53	0,66	121	0,31	83
36	0,54	54	0,58	134	0,26	84
Средние значения						
	0,66	80	0,71	106	0,39	68

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Для деревьев ели и осины объемный вес в пределах от 0,26 до 0,49 г/см<sup>3</sup> характерен только для древесины со второй и третьей стадиями гнили, а в пределах от 0,5 до 0,8 г/см<sup>3</sup> — для здоровой древесины и древесины с первой стадией загнивания.

2. Объемный вес исследованных стволов березы в пределах 0,4—0,7 г/см<sup>3</sup> характерен для древесины со второй и третьей стадиями гнили; 0,7—0,85 г/см<sup>3</sup> — для здоровой древесины; 0,85 г/см<sup>3</sup> и выше — для здоровой древесины и древесины с первой стадией загнивания.

3. Для всех свежесрубленных стволов исследуемых нами древесных пород объемный вес древесины со второй и третьей стадиями гнили всегда меньше, чем объемный вес здоровой древесины. Так, средний объемный вес здоровой древесины составил для ели — 0,67 г/см<sup>3</sup>, для березы — 0,84 г/см<sup>3</sup> и для осины — 0,66 г/см<sup>3</sup>; средний объемный вес древесины со второй и третьей стадиями гнили соответственно составил 0,40; 0,50; 0,39 г/см<sup>3</sup>.

Полученная разница между объемным весом здоровой древесины и древесины со второй и третьей стадиями гнили

будет наблюдаться и в большинстве других аналогичных случаях, если соблюдается следующее условие:

$$\frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}} > 3, \quad (21)$$

где  $M_1$  и  $M_2$  — средние арифметические величины объемного веса здоровой и гнилой древесины;  
 $m_1$  и  $m_2$  — средние ошибки средне-арифметических величин.

В нашем случае это условие соблюдается для всех исследованных древесных пород (для ели  $13,7 > 3$ ; для березы —  $15,4 > 3$ ; для осины  $15,5 > 3$ ).

**В пятой главе** — «Некоторые теоретические основы проектирования гамма- и рентген-дефектоскопов для древесины» — рассмотрены зависимости чувствительности дефектоскопа от начальной интенсивности источника излучения, времени регистрации импульсов, постоянной времени интегрирования импульсов в приборе и параметров просвечиваемой древесины.

Под порогом чувствительности принята способность дефектоскопа к определению минимального размера порока.

Одним из основных факторов, влияющих на чувствительность дефектоскопа к определению пороков древесины, является интенсивность излучения источника. При малой интенсивности излучения прошедшего через древесину, изменение ее при наличии порока будет также малым, а следовательно и выявляемость пороков будет недостаточной.

Обеспечить заданную чувствительность при просвечивании древесины с постоянными параметрами (толщина просвечивания, объемный вес) возможно путем выбора соответствующей интенсивности источника излучения. При просвечивании древесины с переменными параметрами обеспечить постоянную чувствительность можно путем применения следящего привода. Последний должен регулировать величину интенсивности пучка излучения в зависимости от изменения толщины и плотности просвечиваемой древесины и всегда поддерживать заданную чувствительность.

Большое влияние на чувствительность устройства оказывает также время регистрации импульсов и разрешающая способность во времени интегрирующей ячейки прибора. Необходимая для просвечивания древесины интенсивность первоначального пучка гамма-лучей может быть определена по выведенной в работе следующей формуле:

$$J_0 = \frac{r^2 \cdot e^{\mu'R}}{\tau \cdot \Delta^2 \text{th}(\mu'\Delta R) \cdot \text{sh}(\mu'\Delta R)} \quad (22)$$

Интенсивность первоначального пучка гамма-лучей связана с полной интенсивностью источника излучения следующим отношением:

$$J_0 = J \frac{s \cdot \eta}{4\pi \cdot r^2} \quad (23)$$

Подставляя значение  $J_0$  из выражения (23) в уравнение (22), определяется необходимая интенсивность излучения источника:

$$J = \frac{4\pi \cdot r_0^2 \cdot r^2 \cdot e^{\mu'R}}{s \cdot \tau \cdot \eta \cdot \Delta^2 \cdot \text{th}(\mu'\Delta R) \text{sh}(\mu'\Delta R)}, \quad (24)$$

где  $\mu'$  — массовый коэффициент ослабления гамма-лучей для древесины в  $\text{см}^2/\text{г}$ ;

$R$  — поверхностная плотность древесины в  $\text{г}/\text{см}^2$ ;

$r$  — ширина пучка гамма-лучей в см;

$r_0$  — расстояние между источником излучения и счетчиком в см;

$s$  — эффективная площадь счетчика в  $\text{см}^2$ ;

$\eta$  — эффективность счетчика к гамма-квантам;

$\Delta$  — продольный размер порока в см;

$\Delta R$  — изменение поверхностной плотности древесины в  $\text{г}/\text{см}^2$ ;

$\tau$  — постоянная времени интегрирования импульсов в приборе, в сек.

**В шестой главе** — «Чувствительность ионизационного метода дефектоскопии при просвечивании древесины» — рассмотрено влияние на выявляемость пороков: скорости перемещения древесины при ее просвечивании; размеров пороков; разности поверхностной плотности здоровой древесины и древесины, пораженной пороком; времени регистрации импульсов.

Просвечивались образцы сечением  $20 \times 10$  и длиной 120 см. В каждом из них на длине 50 см имелись вставки гнили, толщиной в первом — 15; во втором — 10; в третьем — 5 и четвертом — 3 см.

Опыты проводились с применением дифференциальной схемы просвечивания. Регистрация излучения осуществлялась с помощью пересчетной установки Б-2 и дозиметрической установки УСИД-12. Просвечивание выполнялось при различных скоростях перемещения образцов. Выходные сигналы от

первого и второго счетчиков импульсов имели разную полярность и поступали на вход двух ячеек блока сигнализаторов УСИД-12. На выходе ячеек сигналы суммировались и результирующий сигнал поступал на исполнительное реле блока световой и звуковой сигнализации.

В качестве характеристики, определяющей выявляемость порока, принято отношение  $\frac{\Delta J}{\Delta}$ , которое называем коэффициентом выявляемости  $K$ , где  $\Delta$  — порог чувствительности аппаратуры;

$\Delta J$  — разность интенсивности пучка излучения на выходе из здорового и дефектного участков образца древесины, равная  $J_1 - J_2$ .

На графике (рис. 5) приведены данные, полученные экспериментально, по выявляемости гнили при просвечивании образцов, перемещаемых с различной скоростью.

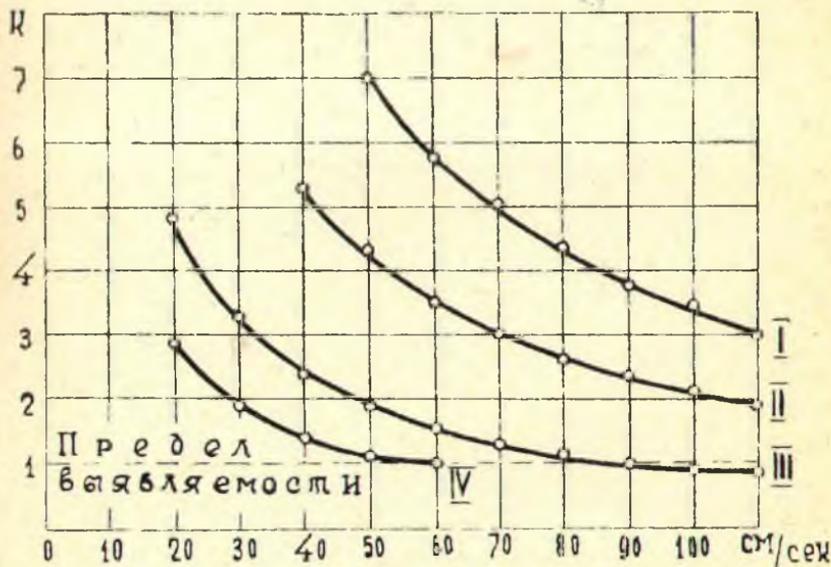


Рис. 5.

Если характеризовать дефекты всех просвечиваемых образцов в процентах от  $\frac{\Delta R}{R}$ , то их относительные величины будут равны: для первого — 39%, для второго — 27, для третьего — 13 и четвертого — 8. Из графика видно, что де-

факты с относительными размерами 8; 13; 27 и 39% выявлялись достаточно надежно при скоростях перемещения  $V_{\max}$  соответственно равных 0,4; 0,7; 1,1 и 1,5 м/сек.

В диссертации также дается графическая зависимость чувствительности к выявлению пороков от поверхностной плотности древесины при просвечивании рентгеновыми лучами с энергией  $E_{\max} = 100$  кэв и гамма-лучами изотопов цезий—137 и кобальт—60 (рис. 6). При этом все другие факторы принимались постоянными, а время регистрации импульсов в дефектном месте равно 1 сек.

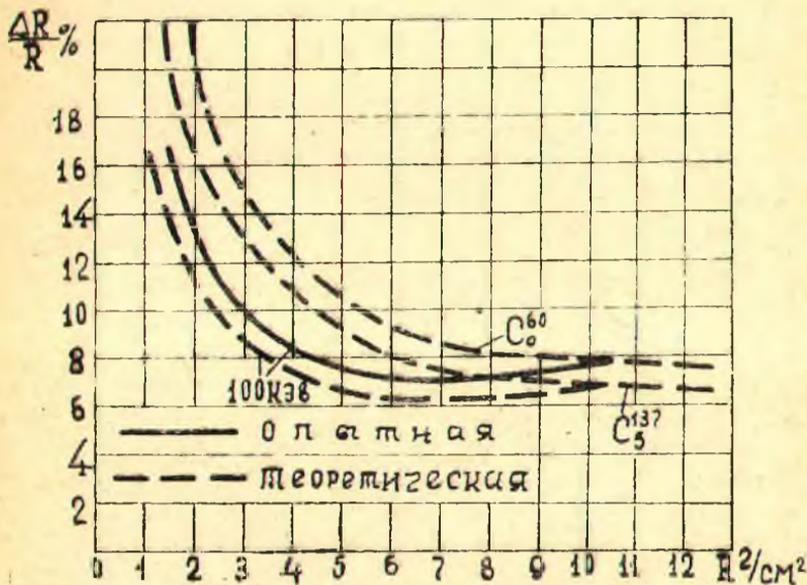


Рис. 6.

Пользуясь графиком (рис. 6) находится минимальный размер порока  $X_2$  в направлении просвечивания при помощи выражения:

$$X_2 = \frac{\Delta R}{\Delta \rho} \quad (25)$$

Для примера определяем минимальный размер гнили, который обнаруживается при просвечивании рентгеновыми лучами с энергией излучения  $E_{\max} = 100$  кэв.

Исходные данные: просвечиваем бревно диаметром 20 см, объемный вес здоровой древесины  $\rho_1 = 0,52 \text{ г/см}^3$ , объемный вес гнилой древесины  $\rho_2 = 0,3 \text{ г/см}^3$ , разность  $\Delta \rho = \rho_1 - \rho_2 = 0,22 \text{ г/см}^3$ .

Поверхностная плотность эффективного сечения просвечиваемой древесины здоровой части бревна равна:

$$R = 20 \cdot 0,52 = 10,4 \text{ г/см}^2.$$

По графику для этой поверхностной плотности находим чувствительность  $\frac{\Delta R}{R} = 7,3\%$ . Тогда

$$\Delta R = \frac{7,3 \cdot 10,4}{100} = 0,758 \text{ г/см}^2.$$

Минимальный размер гнили  $X_2$ , который может быть в данном случае обнаружен прибором согласно выражению (25), равен:

$$X = \frac{0,758}{0,22} = 3,72 \text{ см}$$

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в диссертационной работе теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Поглощение рентгеновского и гамма-излучения для всех исследованных древесных пород (сосна, ель, береза, осина) пропорционально плотности и толщине эффективного сечения древесины и не зависит от других факторов.

2. Вычисленные теоретически, по эталону плотности, массовые коэффициенты поглощения гамма-лучей для древесины и аналитически выведенные в работе уравнения (11, 16 и 17) для расчета плотности абсолютно сухой, водонасыщенной и влажной древесины могут быть использованы для определения плотности древесины по ослаблению пучка гамма-лучей, прошедших через контролируемые участки ствола как при индивидуальном, так и при автоматическом контроле.

3. Правильность теоретических основ о возможности определения массового коэффициента поглощения для древесины по эталону плотности подтверждается экспериментальными исследованиями.

4. Пороки, изменяющие объемный вес древесины в растущих и свежесрубленных деревьях, а также древесины, находящейся в воздушно сухом состоянии, могут быть определены по разности поглощения рентгеновых или гамма-лучей. Наличие влаги в древесине, в зависимости от ее количества, оказывает различное влияние на изменение поглощения рентгеновых и гамма-лучей.

С увеличением содержания влаги в древесине от 0 до 30% ослабление пучка гамма- и рентгеновского излучения увеличивается незначительно, в связи с уменьшением количества древесинного вещества, отнесенного к единице объема. При увеличении влажности древесины от 30% и выше ослабление интенсивности излучения возрастает пропорционально увеличению содержания влаги.

5. Для рентген- и гамма-дефектоскопии древесины наиболее приемлемым способом регистрации интенсивности излучения является ионизационный способ, с использованием в качестве детектора галогенных и сцинтилляционных счетчиков. Этот способ дает возможность установить место расположения порока и примерно определить вид его и размеры по форме и амплитуде полученного при просвечивании сигнала.

Чувствительность ионизационного способа рентген- и гамма-дефектоскопии к выявлению пороков в древесине зависит от многих переменных факторов, основными из которых являются: интенсивность излучения, прошедшего через древесину; энергия излучения; время регистрации интенсивности излучения и параметры пучка излучения. Для получения постоянной чувствительности при увеличении толщины просвечиваемой древесины необходимо увеличивать интенсивность излучения или его энергию. Увеличение энергии излучения выше 0,3—0,4 мэв нежелательно, так как это приводит к снижению чувствительности.

6. Определение оптимальной интенсивности излучения источника в зависимости от толщины просвечиваемой древесины, времени регистрации и времени интегрирования импульсов в приборе можно производить по предложенной в диссертации формуле (21).

7. Время регистрации интенсивности излучения на дефектном участке просвечиваемого образца зависит от продольного размера порока древесины и от скорости перемещения образца. Такие пороки, как гниль, имеют большие продольные размеры и могут быть обнаружены при больших скоростях перемещения древесины — до 1 м/сек и выше. Это позволяет применить данный метод дефектоскопии для определения гнили в хлыстах при раскряжсвке их на полуавтоматических линиях.

8. Использование ионизационного способа рентген- и гамма-дефектоскопии и существующей регистрирующей аппаратуры для определения пороков, которые имеют небольшие размеры (сучки, трещины и др.), возможно при малых скоростях перемещения древесины — в пределах от 0,1 до 0,15 м/сек.

Однако это не является недостатком, присущим данному методу дефектоскопии, а зависит от разрешающей возможности скорости счета импульсов регистрирующими устройствами.

9. Лучшая чувствительность при ионизационном способе дефектоскопии древесины может быть получена при использовании дифференциальной схемы просвечивания. Применение дифференциальной схемы просвечивания даст возможность исключить влияние изменения диаметра по длине хлыста или бревна на чувствительность к определению пороков.

10. При дефектоскопии бревен и хлыстов, находящихся продолжительное время под влиянием атмосферных осадков или получаемых в переработку из водоемов и бассейнов, необходимо измерять наличие влаги в древесине.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований, изложенные в диссертационной работе, используются для создания дефектоскопических установок, предназначенных для обнаружения скрытых пороков древесины.

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах.

1. Д. Г. Веретенник. Пути автоматизации определения пороков древесины гамма- и рентген-лучами. Киров, 1965 г. Объем 4,3 печатных листа.

2. Д. К. Воевода, Д. Г. Веретенник. Об экономической эффективности слепого метода раскроя. «Лесная промышленность», 1960 г. № 12.

---

