

УДК 343.987:58.08

**А. Н. Хох**

заведующий лабораторией исследования материалов, веществ и изделий,  
НПЦ Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь  
г. Минск, Беларусь

E-mail: [1ann1hoh@gmail.com](mailto:1ann1hoh@gmail.com)

**В. Б. Звягинцев**

*кандидат биологических наук, доцент*

заведующий кафедрой лесозащиты и древесиноведения,  
Белорусский государственный технологический университет  
г. Минск, Беларусь

E-mail: [mycolog@tut.by](mailto:mycolog@tut.by)

## НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ СВЕРЛЕНИЮ В СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ

В статье предпринята попытка на конкретных примерах показать возможности метода измерения сопротивления древесины микро сверлению применительно к задачам судебно-экспертной практики. По результатам эмпирического поискового исследования строительных лесоматериалов определены направления дальнейшего использования метода. Полученные на данный момент результаты носят предварительный характер, однако открывают новые перспективы для дальнейшего изучения.

**Ключевые слова:** судебная экспертиза; древесина; резистограф; возраст дерева; ширина годичного слоя; деградация.

**A. N. Khokh**

SPC of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus  
Minsk, Belarus

**V. B. Zviagintsev**

*Ph.D. (Biological Sciences), Associate Professor*

Belarusian State Technological University  
Minsk, Belarus

## NEW POSSIBILITIES FOR APPLYING THE METHOD OF MEASURING WOOD RESISTANCE TO DRILLING IN FORENSIC EXAMINATION

The article has tried to demonstrate the capabilities of the method for measuring resistance of wood to micro-drilling in the context of forensic practice objectives by using specific examples. Based on the results of the empirical exploratory study of construction timber, the directions of further use of the method have been determined. The results to date are provisional, but they open up new prospects for further study.

**Keywords:** forensic examination; wood; resistograph; tree age; annual layer width; degradation.

Древесина как строительный материал обладает рядом ценных качеств: простота обработки, удобство транспортировки, низкие теплопроводность и звукопроницаемость, высокие декоративные качества и др., благодаря которым именно ей зачастую отдается предпочтение перед другими материалами. В настоящее время потребление древесины в мире достигло 3,6 млрд м<sup>3</sup> в год, а по прогнозам к 2050 г. может возрасти до 6 млрд м<sup>3</sup> [1]. Такой большой спрос во многом обуславливает тот факт, что при расследовании и судебном рассмотрении различных категорий уголовных и гражданских дел строительные лесоматериалы достаточно часто могут выступать в качестве вещественных доказательств. Соответственно возникает необходимость в абсолютной и относительной датировке, определении региональной принадлежности, а также оценке качества и установлении степени износа лесоматериалов. Ответить на данные вопросы возможно с использованием разных методов. Так, например, для проведения датировки и отождествления места произрастания необходимо подвергнуть исследуемый объект дендрохронологическому анализу [2].

В данной работе рассматривается метод измерения сопротивления древесины микро-сверлению с помощью специального прибора – резистографа. При этом основное внимание акцентируется не на существующих стандартных подходах к его использованию – выявление деструктивных процессов в строительных лесоматериалах, в т.ч. объемов и расположения скрытых гнилей, зон распада и внутренних

стволовых трещин, а на поиске новых практических приложений, которые могли бы быть востребованы при проведении судебных экспертиз.

Так, благодаря четкой разнице между плотностью ранней и поздней древесины у некоторых пород, можно предположить, что резистограф может быть использован для подсчета числа годичных слоев, т.е. фактически для установления возраста дерева.

Для проверки данного предположения нами были проведены экспериментальные исследования 20 спилов ели европейской и сосны обыкновенной белорусского происхождения. Образцы отбирались из деревьев разного возраста в контрастных по гидротопу условиях произрастания (сосняк мшистый и сосняк сфагновый, ельник мшистый и ельник долгомошный). Возраст устанавливался 2-мя методами:

1) с помощью резистографа R650-SC («Rinntech», Германия), параметры сверления: скорость подачи иглы – 175 см/мин, скорость вращения – 1500 об/мин;

2) с помощью разработанного в государственном учреждении «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь» автоматизированного рабочего места «DendroExp» (далее – АРМ «DendroExp»), считывающего годичные кольца, зоны ранней и поздней древесины в автоматическом режиме [3–5].

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Разница в количестве годичных колец

№, тип леса	Количество годичных колец, шт.					
	Сосна обыкновенная		Разница, лет	Ель европейская		Разница, лет
	АРМ «DendroExp»	Резистограф R650-SC		АРМ «DendroExp»	Резистограф R650-SC	
средняя ширина годичных колец > 0,1 мм						
1. С.мш./ Е. мш.	46	46	0	60	59	1
2. С.мш./ Е. мш.	51	51	0	62	62	0
3. С.мш./ Е. мш.	88	88	1	63	62	1
4. С.мш./ Е. мш.	60	60	0	58	58	0
5. С.мш./ Е. мш.	62	61	1	79	77	2
6. С.мш./ Е. мш.	90	89	1	82	81	1
7. С.мш./ Е. мш.	94	93	1	80	79	1

Окончание таблицы 1

№, тип леса	Количество годичных колец, шт.					
	Сосна обыкновенная		Разница, лет	Ель европейская		Разница, лет
	АРМ «DendroExp»	Резистограф R650-SC		АРМ «DendroExp»	Резистограф R650-SC	
средняя ширина годичных колец < 0,1 мм						
8. С. сф./ Е. дм.	56	49	7	71	66	5
8. С. сф./ Е. дм.	78	72	6	67	63	4
8. С. сф./ Е. дм.	93	87	6	68	59	9

Как можно видеть из таблицы 1, возраст с помощью резистографа наиболее точно определяется на образцах с широкими годичными кольцами (максимальная разница составила 2 года; для 10 из 20 обследованных спилов возраст, установленный с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC, совпал. В это же самое время для древесины с узкими кольцами имеются сложности, во всех случаях наблюдались ошибки, которые были связаны с тем, что некоторые границы перехода между годичными кольцами не всегда четко или вообще не регистрировались прибором. Минимальная разница составила 4 года, максимальная – 9 лет (установлены для ели обыкновенной из сфагнового типа леса).

Необходимо отметить, что поскольку исследования проводились на спилах, то нам было легко обеспечить прохождение сверла резистографа через центральное годичное кольцо (рисунок 1 Б) или вблизи от него (рисунок 1 А), в то время как в случае оценки возраста стоящих на корню деревьев, деревянных мостовых конструкций, мачт, свай и столбов могут возникать ошибки, связанные со значительным отклонением сверла от сердцевины (рисунок 1 В).

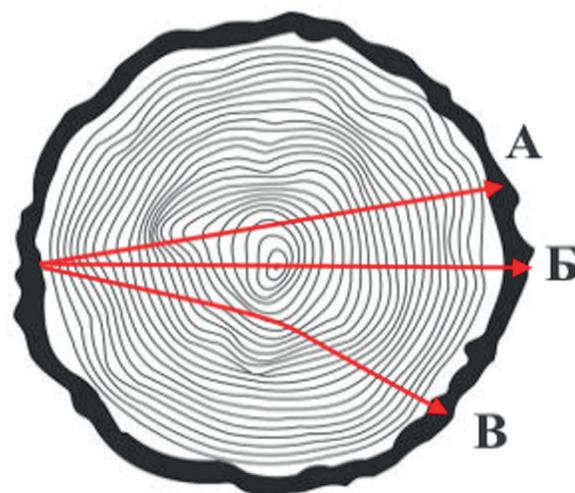
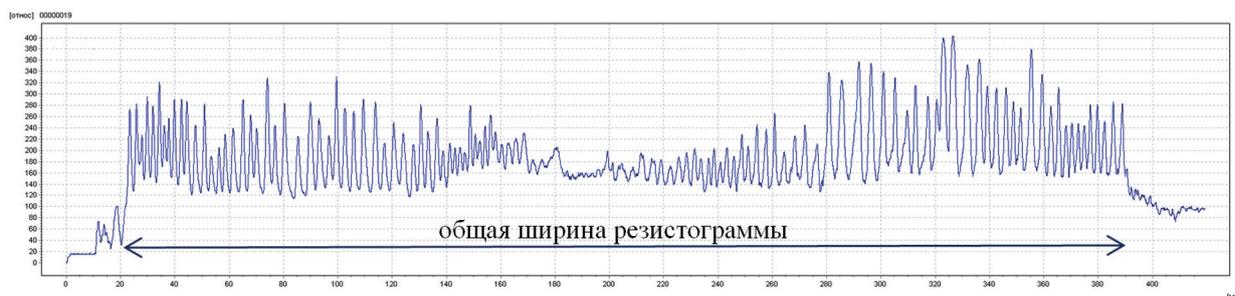
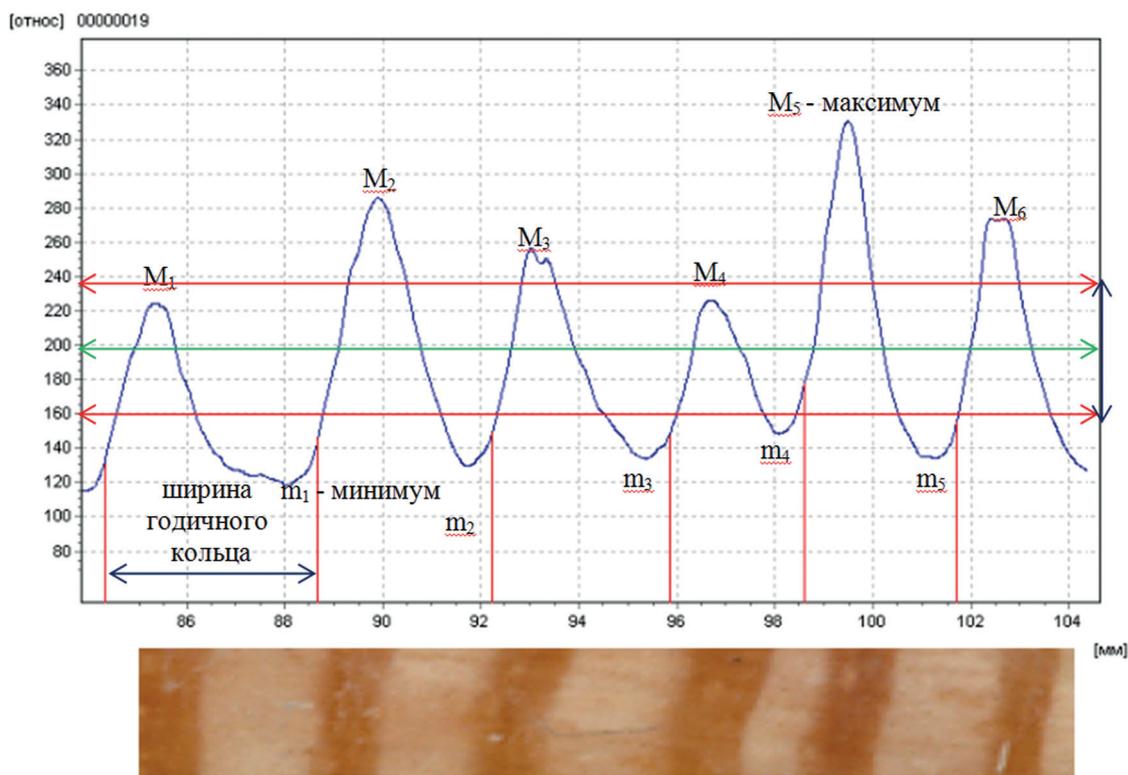


Рисунок 1 – Направления сверления: А – допустимое, Б – правильное (оптимальное) и В – неправильное

Далее нами была изучена возможность использования резистографа для измерения ширины годичных колец и построения древесно-кольцевых хронологий (далее – ДКХ). На рисунке 2 показан пример анализа резистограммы сосны обыкновенной с помощью программы DECOM.



а



б

Рисунок 2 – а) общий вид резистограммы;  
б) пример автоматического расчета ширины годовичных колец

Таблица 2 – Результаты измерения ширины годовичных колец

Дерево	ШГС (мм), полученная с помощью АРМ «DendroExp»			ШГС (мм), полученная с помощью резистографа R650-SC		
	минимум	максимум	среднее	минимум	максимум	среднее
сосна 1	0,54	3,92	2,18	0,57	4,11	2,33
сосна 2	0,48	3,16	1,56	0,57	3,17	1,57
сосна 3	0,28	1,4	0,91	0,87	5,3	2,4
сосна 4	0,54	3,69	1,79	0,61	4,04	2,07
сосна 5	1,26	3,66	2,23	1,77	4,08	2,36

В таблице 2 приведены результаты измерения ширины годовичных колец для 5 спилов сосны обыкновенной с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC.

На рисунке 3 представлены примеры ДКХ, полученных с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC. Как можно видеть, сравниваемые хронологии имеют схожую форму, периоды резких угнетений и больших кульминаций роста у них совпадают, что позволяет проводить расчеты параметров радиального прироста непосредственно на полученных резистограммах.

В результате статистического анализа было показано, что деревья сосны, за исключением дерева 3, показали высокую корреляцию ( $t > 4$ ) между 2-мя ДКХ, полученными с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC. В случае дерева 3 отмечена очень низкая связь сравниваемых ДКХ, поскольку невозможно было точно измерить ширину годовичных колец из-за того, что они были уже, чем 1 мм; значение  $t$  составило 2,9 (таблица 3).

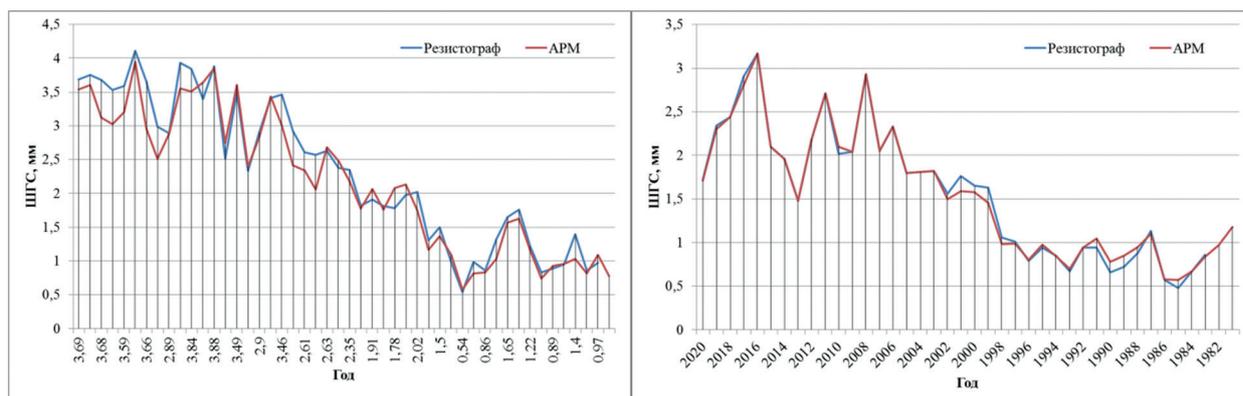


Рисунок 3 – ДКХ: а) – дерево 1; б) – дерево 2

Таблица 3 – Корреляция (t-критерий) между ДКХ, полученными с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC

Дерево	сосна 1	сосна 2	сосна 3	сосна 4	сосна 5
сосна 1	9,48 (*38)				
сосна 2		6,36 (*47)			
сосна 3			2,9 (*74)		
сосна 4				11,16 (*76)	
сосна 5					8,20 (*61)

Значения  $K_c$  составили > 90% для 3 из 5 исследованных деревьев. Для дерева 1 коэффициент синхронности был равен 89,4%,

а для дерева 3 – 70,2%, что еще раз подтверждает различия полученных ДКХ между собой (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициент синхронности (КС) между ДКХ, полученными с помощью АРМ «DendroExp» и резистографа R650-SC

Дерево	сосна 1	сосна 2	сосна 3	сосна 4	сосна 5
сосна 1	89,4%				
сосна 2		94,7%			
сосна 3			70,2%		
сосна 4				92,1%	
сосна 5					90,2%

В рамках данного исследования мы также рассмотрели возможность дифференциации двух древесных пород: сосны обыкновенной и ели обыкновенной, на основании алгоритмов, разработанных группой испанских ученых [6–8]. Для этого нами были рассчитаны следующие параметры 40 резистограмм:

- общее среднее (1);
- стандартное отклонение (2);
- коэффициент вариации (3);
- максимум (4);
- минимум (5)
- отношение общего среднего к разнице между максимумом и общим средним (в %) (6);
- отношение общего среднего к разнице между минимумом и общим средним (в %) (7);

- среднее значение максимумов (8);
- среднее значение минимумов (9);
- разница между средним значением максимумов и средним значением минимумов (10);
- разница между средним значением максимумов и общим средним (11);
- разница между средним значением минимумов и общим средним (12);
- разница между максимумом и средним значением максимумов (13);
- разница между минимумом и средним значением минимумов (14).

Полученные результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Сравнение 14 параметров резистографических профилей сосны обыкновенной и ели обыкновенной (однофакторный дисперсионный анализ ANOVA)

Переменные	Резистографические интервалы		Критерий Манна-Уитни		
	Сосна (N=20)	Ель (N=20)	U-value	z-score	p (для U-value)
1	348,3	330,1	123,5	2,06	<b>0,02</b>
2	68,9	74,5	103,5	-2,60	<b>0,005</b>
3	21,1	22,3	153,5	-1,24	0,11
4	427,3	395,7	116	2,26	<b>0,01</b>
5	208,2	209,6	180	-1,53	0,30
6	42,3	40,1	173	0,72	0,22
7	37,5	36,0	130,5	1,87	<b>0,03</b>
8	365,5	354,3	185,5	0,38	0,35
9	292,3	284,4	179,5	0,54	0,30
10	73,4	75,1	191	-0,23	0,41
11	17,4	19,3	191	-0,23	0,41
12	55,5	49,5	170	0,80	0,21
13	60,1	44,4	114,5	1,91	<b>0,03</b>
14	84,1	74,8	131,5	1,36	0,09

Примечание: жирным шрифтом выделены статистически значимые различия; критическое значение критерия U-Манна-Уитни для уровня значимости 0,05 = 138

Результаты наших исследований показали, что статистически значимые различия были выявлены для 5 из 14 исследованных параметров резистографического профиля. Далее эти

параметры были проанализированы с помощью метода главных компонент (далее – PCA). Полученные результаты представлены на графике PCA-счетов (рисунок 4).

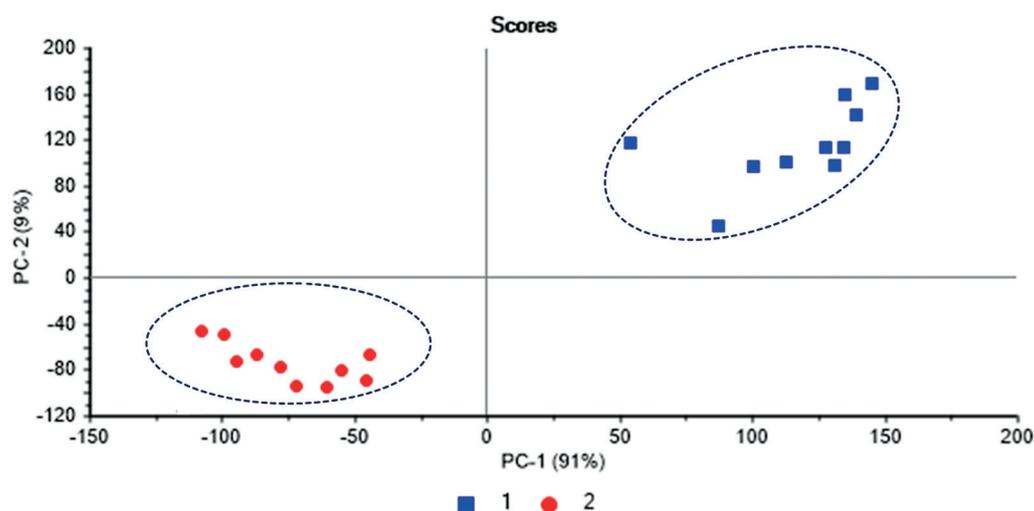


Рисунок 4 – Графики PCA-счетов для исследованных образцов: 1 – сосна обыкновенная; 2 – ель обыкновенная

Как можно видеть на рисунке 4, исследуемые образцы разделились на две группы, каждая из которых полностью соответствует исследуемой породе, что стимулирует интерес к дальнейшему изучению вопроса об установ-

лении видовой принадлежности древесных пород на основе их резистографических профилей.

В рамках данного поискового исследования с целью всестороннего изучения вопроса,

связанного с разработкой среднего показателя степени снижения качества строительных лесоматериалов и изделий за год эксплуатации в условиях нормального применения изделий по назначению в процентах от первоначальной стоимости (стоимости нового изделия), нами была проведена серия экспериментальных работ по определению изме-

нений свойств древесины при эксплуатации. В качестве образцов были взяты деревянные балки сосны обыкновенной разной степени сохранности. Расчеты были проведены по параметрам (1)–(7), как это рекомендовано в работе Dr. Luis Acuña Rello и др. [6].

Полученные результаты представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Сравнение сопротивления сверлению сырораствующей древесины сосны с древесиной, бывшей в эксплуатации

Параметр	Контроль	Образцы №№ 1–10 (срок эксплуатации ≈ 10 лет)	Образцы №№ 11–20 (срок эксплуатации ≈ 12 лет)	Образцы №№ 21–28 (срок эксплуатации ≈ 25 лет)	Образцы №№ 29–35 (срок эксплуатации ≈ 30 лет)
1	335,30	298,14	276,15*	254,86**	246,25**
2	84,40	64,21*	32,80***	42,76**	45,01**
3	27,50	24,26	13,32**	18,92*	20,18*
4	123,02	127,74	211,09**	170,02**	130,88
5	647,39	508,83*	402,95**	422,26**	426,73**
6	107,01	90,67	55,75**	80,10*	87,31
7	79,86	73,17	33,03***	44,21***	59,09

Примечание: \* – уровень значимости  $P \leq 0,05$ ; \*\* –  $P \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $P \leq 0,001$

Результаты исследований свидетельствуют о том, что для образцов древесины сосны, бывших в эксплуатации в течение 10–12 лет, наблюдается уменьшение параметров 1 (14%), 2 (43%), 3 (32%), 5 (30%), 6 (32%) и 7 (34%) и увеличение параметра 4 (38%). У древесины, бывшей в эксплуатации 25–30 лет, наблюдается аналогичная ситуация: уменьшение параметров 1 (16%), 2 (32%), 3 (19%), 5 (30%), 6 (17%) и 7 (8%) и увеличение параметра 4 (29%). Полученные данные показывают возможность использования резистографа для оценки внутреннего состояния изделий из древесины с минимальными повреждениями материалов и без их изъятия из конструкций. Основываясь на сопротивлении древесины сверлению, можно разработать методику определения степени деградации механических свойств древесины

деревянных конструкций и изделий в процессе их эксплуатации, что в перспективе может заменить трудоемкие и длительные работы по изменению этих свойств разрушающими методами.

Таким образом, проведенные исследования позволяют заключить, что метод измерения сопротивления древесины микросверлению может найти применение в экспертной практике, помимо решения задач, связанных с установлением жизненного состояния и степени аварийности дерева, но для этого требуется детальный анализ гораздо более широкой совокупности объектов. Полученные результаты, учитывая незначительный объем имеющихся экспериментальных данных, носят предварительный характер.

### Список использованных источников

1. Пауль, Э. Э. Древесиноведение с основами лесного товароведения : учеб. пособие для студ. учреждений высш. обр. по спец. «Технология деревообрабатывающих производств», «Лесоинженерное дело» / Э. Э. Пауль, В. Б. Звягинцев. – Минск : БГТУ, 2015. – 315 с.

2. Хох, А. Н. Становление судебно-ботанической экспертизы с использованием дендрохронологического анализа в Республике Беларусь / А. Н. Хох // Судебная экспертиза Беларуси. – 2020. – № 1. – С. 64–68.
3. Кузменков, Д. Е. Применение специализированных средств АРМ «DendroExp» для количественной оценки параметров радиального прироста при проведении дендрохронологических экспертных исследований / Д. Е. Кузменков, Ф. А. Сиверский, А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НППЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь; редкол.: А. В. Дулов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – Вып. 2 (40). – С. 179–185.
4. Хох, А. Н. Автоматизированное рабочее место «DendroExp» как инструмент для рационализации проведения дендрохронологических экспертных исследований / А. Н. Хох, Д. Е. Кузменков // Криміналістичний вісн.: наук.-практ. зб. / ДНДЕКЦ МВС України; НАВС; голов. ред. В. В. Черней. – К.: ПК «Типографія від «А» до «Я», 2017. – № 1 (27). – С. 133–140.
5. Концепция автоматизированного рабочего места по обработке дендрохронологической информации, используемой при производстве экспертиз объектов растительного происхождения / Д. Е. Кузменков [и др.] // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НППЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь; редкол.: А. В. Дулов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – Вып. 1 (39). – С. 154–157.
6. La técnica resistográfica y la madera estructural / L. A. Rello [et al.] // Conference : Congreso Iberoamericano de productos forestales – Iberomadera 2007At: Buenos Aires (Argentina). – 2007. – P. 1–13.
7. Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y la diferenciación de especies de madera estructural / L. A. Rello [et al.] // Materiales de construcción. – 2011. – № 303. – С. 451–464.
8. Álvarez, L. Aplicación del resistógrafo al diagnóstico de elementos singulares en estructura de madera / L. Álvarez // I jornadas de investigación en construcción (2–4 de junio de 2005. Madrid, España). – Madrid, España : Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja – CSIC. – 2005. – P. 165–181.

Дата поступления: 11.03.2021