

УДК 630*812: 81

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ЛЫЖНЫХ ЗАГОТОВОК**Колесникова А.А., Федорова А.А., Мазуркин П.М.***Марийский государственный технический университет, e-mail: kaf_po@mail.ru*

Установлено влияние длины образца, угла наклона древесных волокон на акустические показатели древесины ели. Ультразвуковым методом предлагается испытывать лыжные заготовки разной длины, строго в продольном направлении волокон и выявлять пороки древесины.

Ключевые слова: древесина; ультразвуковые испытания; влияние факторов; результаты моделирования

ULTRASONIC TESTS OF WOOD OF SKI PREPARATIONS**Kolesnikova A.A., Fedorova A.A., Mazurkin P.M.***Mari state technical university, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru*

Influence of length of the sample, angle of slope of wood fibres on acoustic indicators of wood of a fir-tree is established. The ultrasonic method offers to test ski preparations of different length, it is strict in a longitudinal direction of fibres and to reveal defects of wood.

Keywords: wood; ultrasonic test; influence of factors; results of modeling

Одним из основных материалов для изготовления лыж по-прежнему остается древесина. По требованиям ГОСТ 17043–90 для изготовления лыж применяется древесина сосны и березы. Испытания проводят разрушающим методом на прочность и прогиб. Но для этого требуется разрушать готовые лыжи, а они могут не удовлетворять требованиям стандарта. В итоге нужно испытывать не готовые изделия, а исходные заготовки из древесины.

Ультразвуковые испытания позволяют оценивать качество непосредственно при сортировке черновых заготовок перед технологическим процессом изготовления лыж, что обеспечивает рациональное использование древесины и повышение качества готовой продукции.

При испытании древесины для музыкальных инструментов в виде резонансных дощечек, брусков или кернов, изготовленных из ели с использованием звуковых и ультразвуковых методов выявлено, что лучшими резонансными свойствами обладает древесина, имеющая акустическую константу вдоль волокон 13 и выше [1, 3, 4].

В выявленных закономерностях [1] изменения свойств древесины показатель скорости является одной из основных характеристик древесины. Установлено, что критерием оценки скорости распространения продольных ультразвуковых волн является отношение длины волны к поперечному сечению образца [3, 4]. Отмечается, что длина волны колебаний должна быть намного больше поперечного сечения образца.

При выявлении зависимости акустических показателей от длины образца сечени-

ем 2020 мм в продольном направлении была установлена зона их постоянных значений при длине более 200 мм [1]. Аналогичное влияние длины образца на акустические показатели наблюдается на кернах и резонансных дощечках в радиальном направлении. Аналогичны изменения этих же показателей от углов наклона волокон относительно осей анизотропии.

Цель статьи – выявить закономерности изменения плотности древесины и ультразвуковых показателей на черновых лыжных заготовках.

Для испытания были взяты сосновые и березовые лыжные заготовки длиной 1500 мм толщиной 20 мм – 2 шт. радиально-тангентального спила, 25 мм – 2 шт. тангентального и радиального спила и толщиной 40 мм – тангентального спила. Размеры исследуемых образцов измерялись линейкой с точностью до 0,01 мм, масса – с точностью 0,05 г, угол наклона волокон относительно оси заготовок – транспортиром. Заготовки озвучивались вдоль волокон ультразвуковым прибором УК-14П при последовательном отпиливании на отрезки длиной 300 мм. Каждый отрезок озвучивался в трех точках вдоль оси без наклона волокон и в трех точках под углом к направлению волокон.

По результатам замеров определяются плотность ρ , кг/м³; скорость звука, м/с; акустическая константа K , м⁴/(кг с); акустическое сопротивление $R \cdot 10^6$ кг/(м² с).

Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2. Выделенные числа в таблицах резко отличаются от массива показателей заготовки и указывают на отрезки с дефектами в виде сучков и трещин.

Таблица 1

Показатели свойств древесины березовых заготовок

Длина l , мм	Плотность ρ , кг/м ³	Скорость звука v , м/с	Акуст. конст. K , м ⁴ /(кг·с)	Акуст. со- прот. $R \cdot 10^{-5}$
1481,8	607,3	5589,6	9,2	34,0
1474,0	606,1	5734,0	9,5	34,8
1190,0	605,3	5921,0	9,8	35,8
1182,2	603,7	5851,	9,7	35,3
890,2	604,9	5939,0	9,8	35,9
882,4	605,7	5917,8	9,8	35,9
582,9	616,3	5902,2	9,6	36,4
574,7	606,1	5836,5	9,6	35,4
275,7	786,6	5850,3	7,4	46,0
267,5	573,2	6102,8	10,7	35,0

Таблица 2

Показатели свойств древесины сосновых заготовок

1 ($H = 20$ мм)					2 ($H = 20$ мм)				
Длина l , мм	Плот- ность ρ , кг/м ³	Скорость звука v , м/с	Акуст. конст. K , м ⁴ /(кг·с)	Акуст. сопрот. $R \cdot 10^{-5}$	Длина l , мм	Плот- ность ρ , кг/м ³	Скорость звука v , м/с	Акуст. конст. K , м ⁴ /(кг·с)	Акуст. сопрот. $R \cdot 10^{-5}$
1495,2	422,8	5547,6	13,1	25	1494,2	410,6	5767,5	14,1	23,7
1488,0	422,7	5676,3	13,4	25	1487,2	410,4	5822,2	14,2	23,9
1188,0	423,6	5692,8	13,4	25,1	1187,2	408,6	5798,0	14,2	23,7
1180,2	423,6	5705,7	13,4	24,9	1179,0	408,7	5836,6	14,3	23,9
881,2	428,3	5669,6	13,2	24,3	879,0	413,0	5855,1	14,2	24,2
873,4	428,4	5635,1	13,1	24,8	871,8	412,7	5859,6	14,2	24,2
573,4	433,2	5554,1	12,8	24,8	572,8	415,0	5794,0	14,0	24,1
566,2	433,0	5601,2	12,9	24,5	565,4	409,0	5853,1	14,3	24,0
259,0	435,9	5624,9	12,9	24,3	265,4	423,6	5841,8	13,8	24,8
					259,0	423,7	5959,6	14,1	25,2
3 ($H = 25$ мм)					4 ($H = 40$ мм)				
Длина l , мм	Плот- ность ρ , кг/м ³	Скорость звука v , м/с	Акуст. конст. K , м ⁴ /(кг·с)	Акуст. сопрот. $R \cdot 10^{-5}$	Длина l , мм	Плот- ность ρ , кг/м ³	Скорость звука v , м/с	Акуст. конст. K , м ⁴ /(кг·с)	Акуст. сопрот. $R \cdot 10^{-5}$
1474,0	485,9	5139,0	10,6	25,0	1450,7	548,5	4285,8	7,8	23,5
1192,0	475,0	5264,6	11,1	25,0	1443,7	546,6	4356,2	7,9	23,8
1184,2	475,9	5278,1	11,1	25,1	1161,7	581,8	4472,7	8,2	24,7
902,2	469,2	5300,5	11,3	24,9	1154,3	552,5	4387,3	7,9	24,3
894,4	467,5	5201,5	11,1	24,3	872,3	581,9	4355,1	7,5	25,3
595,4	484,2	5121,4	10,6	24,8	864,7	581,3	4348,9	7,5	25,3
587,6	484,4	5110,4	10,5	24,8	582,7	569,9	4467,1	7,9	25,4
300,6	466,5	5242,1	11,3	24,5	574,1	564,3	4457,5	7,9	25,1
293,0	460,9	5263,8	11,4	24,3	292,1	635,3	3938,2	6,2	25,0
285,0	464,7	5245,0	11,3	24,4	284,3	635,6	3888,8	6,1	24,7

При изменении угла наклона волокон до 5°...7° погрешность изменения скорости для разных образцов тангентальных заготовок березы составляет 1,7...7,6%, радиальных заготовок сосны 1,3...12,1%, тангентальных заготовок сосны толщиной 40 мм 2,2...10,4% и радиально-тангентальных заготовок сосны соответственно 3,5...7,3 и 1,3...5,7%. Максимальное отклонение показателей наблюдается при максимальном

угле наклона. Таким образом, заготовки необходимо озвучивать строго в продольном направлении волокон в трех точках по ширине и за показатель принимать среднее значение. На основании полученных в ходе эксперимента данных с помощью программы CurveExpert [2] получены зависимости показателей от изменения длины заготовок.

Зависимости скорости звука вдоль волокон от длины заготовок характеризуются

общим уравнением (1), графики которых как примеры приведены на рис. 1, по формуле

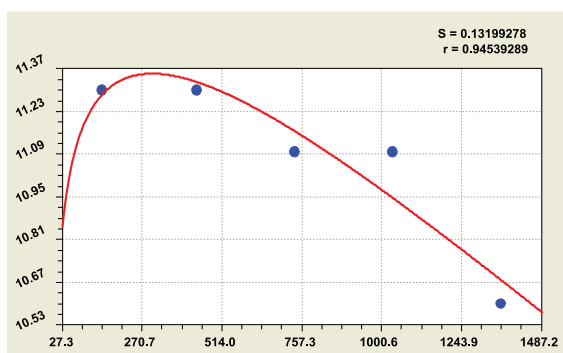
$$v = a \exp(-bl) + cl^d \exp(-el). \quad (1)$$

Для березовых заготовок с увеличением длины скорость уменьшается, разница в значениях 8%, причем при длине меньше 1200 мм разница в значениях 4%.

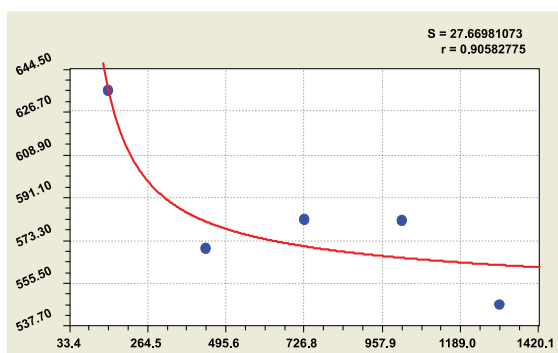
Таблица 3

Параметры формулы (1) для древесных заготовок

Параметры формулы	1 (березовой)	2 (сосновой) $H = 20$ мм	3 (сосновой) $H = 20$ мм	4 (сосновой) $H = 25$ мм	5 (сосновой) $H = 40$ мм
a	6888,93210	5719,82080	5965,87560	5456,43270	1882,8074
b	0,0014828	0,000065363	2,02264e – 005	0,00013846	–0,00039192
c	0,73163212	1,95857e – 015	5,09728e – 023	1,87355e – 012	16,45995
d	1,3888261	6,4209219	11,057035	5,36579	0,92068
e	0,00089834	0,0046990	0,025498	0,0038049	0,0017755



а



б

Рис. 1. Изменение скорости звука вдоль волокон в зависимости от длины заготовок: а – березовых толщиной $H = 2$ мм; б – сосновых, $H = 20$ мм (S – сумма квадратов отклонений, r – коэффициент корреляции)

Скорость распространения звука в древесине сосны с изменением длины заготовок меняется волнообразно. Разница в скорости сосновых заготовок, (см. рис. 1 б) равна 1,7...3,2%.

Влияние длины на акустическую константу вдоль волокон (табл. 4) дается формулой

$$K = a \exp(-bl) + cl^d \exp(-el). \quad (2)$$

Таблица 4

Параметры формулы (2) для древесных заготовок

Параметры формул	1 (березовой)	2 (сосновой) $H = 20$ мм	3 (сосновой) $H = 20$ мм	4 (сосновой) $H = 25$ мм	5 (сосновой) $H = 40$ мм
a	10,076806	15,020477	13,81751	15,0097360	3,26667
b	0,001733208	0,0014768	6,09497e – 005	0,0023020	–0,00051783
c	0,0016938	0,0010891	0,00042115	0,0017583	0,00020811
d	1,3710282	1,44362	1,23779	1,40120	1,81704
e	0,00100006875	0,00085562	0,00056408	0,0010629	0,0032482

Разница в значениях акустической константы сосновых заготовок незначительная (графики а, б, в, г) и составляет 0,7...4,8%, а у березовых заготовок эта разница – 5,6%.

Наблюдается различный характер показателя с изменением длины (рис. 2).

Акустическое сопротивление с увеличением длины заготовки уменьшается. Разница в значениях акустического сопро-

тивления также незначительная: сосновых заготовок составляет 0,8...1,8%, березовых заготовок – 2,9%.

Общий вид изменения акустического сопротивления в зависимости от длины заготовок описывается (табл. 5) в виде формулы

$$R = a \exp(-bl) + cl^d \exp(-el). \quad (3)$$

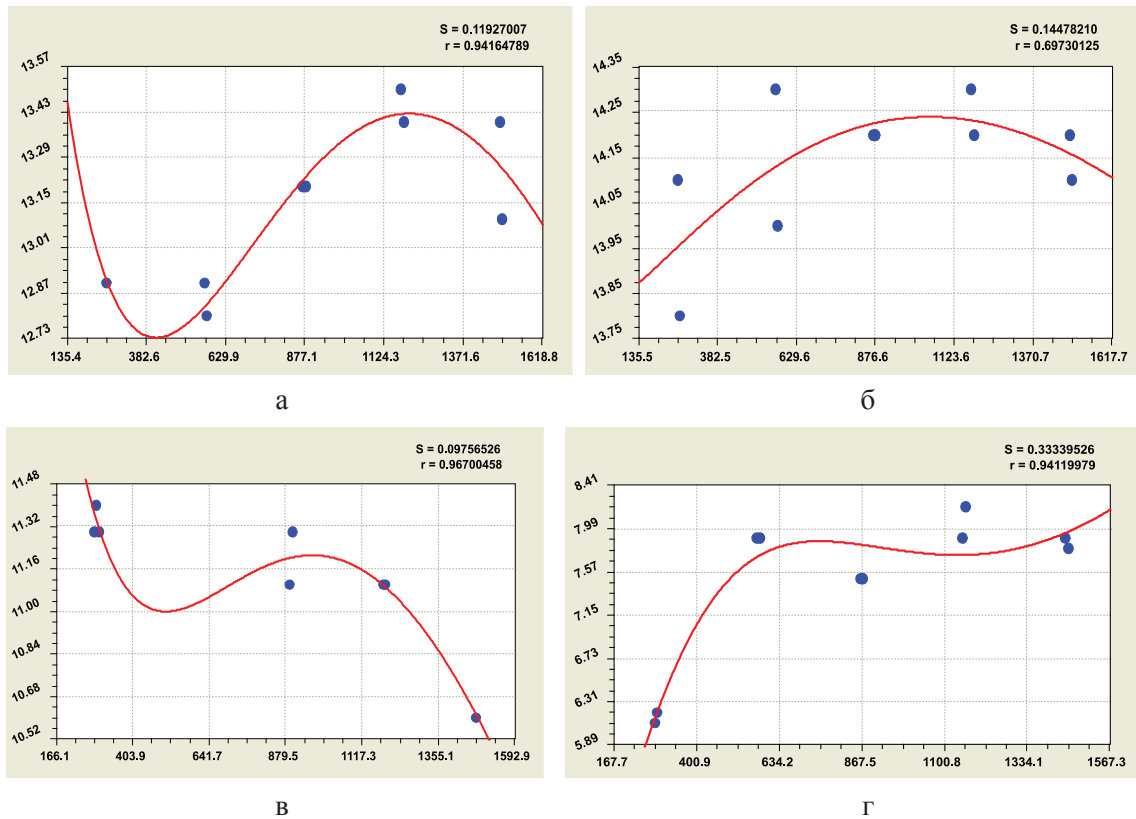


Рис. 2. Изменение акустической константы вдоль волокон в зависимости от длины заготовок: а – березовых толщиной $H = 25$ мм; б, в – сосновых, $H = 20$ мм; г – сосновых, $H = 25$ мм; д – сосновых, $H = 40$ мм

Таблица 5

Параметры формулы (3) для древесных заготовок

Параметры формул	1 (березовой)	2 (сосновой) $H = 20$ мм	3 (сосновой) $H = 20$ мм	4 (сосновой) $H = 25$ мм	5 (сосновой) $H = 40$ мм
a	34,489196	25,17216	3,70699	24,656968	25,14571
b	0,00036696	0,00011263	0,0045692	3,61218e – 005	5,39776e – 005
c	0,0046960	8,69929e – 011	23,87345	4,95153e – 025	5,60708e – 017
d	1,22532	3,77844	0	9,02538	6,580006
e	0,00062025	0,0023899	0	0,0063786	0,0078780
r	0,87	0,84	0,93	0,87	0,97
s	0,48	0,28	0,21	0,27	0,21

Были озвучены короткие образцы длиной 300 мм, последовательно выпиленные из каждой заготовки в направлении от ком-

ля к вершине, на расстоянии s . Основные показатели статистической обработки приведены в табл. 6.

Таблица 6

Основные статистические показатели акустической константы по заготовкам

Показатели	Березовая заготовка	Сосновые заготовки			
		$H = 40$ мм	$H = 25$ мм	$H = 20$ мм	$H = 20$ мм
Количество образцов	15	15	15	15	15
Среднее арифметическое	9,7	9,9	10,4	13,4	13,9
Дисперсия выборки	0,6	1,6	2,3	0,3	0,4
Показатель точности (95%)	2,1	3,3	3,7	1,1	1,1
Коэффициент вариации	8,2	12,6	14,4	4,1	4,4

Для разных заготовок среднее значение акустической константы различное. Незначительный коэффициент вариации при допустимых значениях показателя точности ($< 5\%$) для всех образцов свидетельствует о небольшом разбросе показателя по всей заготовке.

Изменение плотности, скорости звука, акустической константы и акустического сопротивления вдоль заготовки описываются общими уравнениями

$$y = ax^b \exp(-cx^d), \quad (4)$$

параметры которой для исследуемых показателей древесины приведены в табл. 7.

Высокие значения коэффициента корреляции в формулах зависимости свидетельствуют о существовании закономерности изменения показателей в направлении потока питательных веществ – от комлевой части заготовок к вершинной.

Графики изменения показателей вдоль березовой заготовки приведены на рис. 4.

Изменение акустической константы вдоль заготовки аналогично изменению скорости ультразвука и имеет тенденцию к уменьшению по направлению от комлевой части к вершинной. Ультразвуковой метод озвучивания, четко реагирующий на перепады свойств древесины, можно использовать для выявления внутренних пороков древесных заготовок.

Таблица 7

Параметры формулы (4) для древесных заготовок

Параметры формулы	1 (березовой)	2 (сосновой) $H = 20$ мм	3 (сосновой) $H = 20$ мм	4 (сосновой) $H = 25$ мм	5 (сосновой) $H = 40$ мм
	<i>Параметры формулы (4) для плотности</i>				
a	6,32640e + 002	5,69199e + 003	3,93441e + 002	4,24027e + 002	6,15229e + 002
b	-5,85402e - 003	5,32945e - 003	5,77044e - 003	1,72638e - 002	-1,30243e - 002
c	7,88270e + 002	3,98560e - 002	-2,99411e + 002	2,66588e - 003	-8,98717e + 001
d	-1,86529	-1,59297e - 005	-1,74032	-7,02194e - 005	-1,36721
r	0,99	0,89	0,96	0,79	0,91
s	2,97	26,11	3,73	10,63	27,69
<i>Параметры формулы (4) для скорости ультразвука</i>					
a	5,56736e + 003	4,26740e + 002	5,72837e + 003	5,16813e + 003	5,71405e + 003
b	-2,74782e - 002	-1,47723e - 002	-1,41798e - 002	-5,019611e - 003	-3,66835e - 002
c	-2,29286e - 001	-9,91571e - 002	-1,11302e - 001	-4,21719e - 002	1,47967e + 003
d	-1,71954e - 008	3,86639e - 004	-3,10144e - 005	-5,24714e - 006	-1,78020
r	0,77	0,94	0,97	0,73	0,97
s	246,9	3,7	34,86	96,31	110,11
<i>Параметры формулы (4) для акустической константы</i>					
a	9,35569e - 002	1,29881e + 001	1,27520e + 001	9,84794	1,83780
b	2,71808e - 001	-2,97759e - 003	2,11435e - 002	3,026109e - 002	2,50023e - 001
c	-5,81244	-4,32264e - 005	3,83408e - 005	1,0086690e - 004	2,50074e - 004
d	-1,085591e - 001	0	0	0	0
r	0,89	0,96	0,96	0,94	0,93
s	0,49	0,08	0,08	0,13	0,43
<i>Параметры формулы (4) для акустического сопротивления</i>					
a	2,63714e + 001	2,36053e + 001	3,29863e + 001	2,57769e + 001	1,71697e + 001
B	5,92366e - 002	8,14570e - 003	-6,14332e - 002	-1,22579e - 002	7,76427e - 002
c	1,18383e - 004	4,11257e - 005	-3,49260e - 003	-4,52874e - 005	1,74374e - 004
d	0	0	4,83084e - 001	0	0
r	0,77	0,84	0,96	0,81	0,99
s	0,68	0,27	0,38	0,30	0,12

Влияние пороков на акустические показатели приводится на примере двух сосновых заготовок толщиной 20 и 40 мм, имеющих выраженные пороки в виде сучков.

На рис. 5 приведены графики изменения плотности для первой заготовки и акустической константы для второй заготовки.

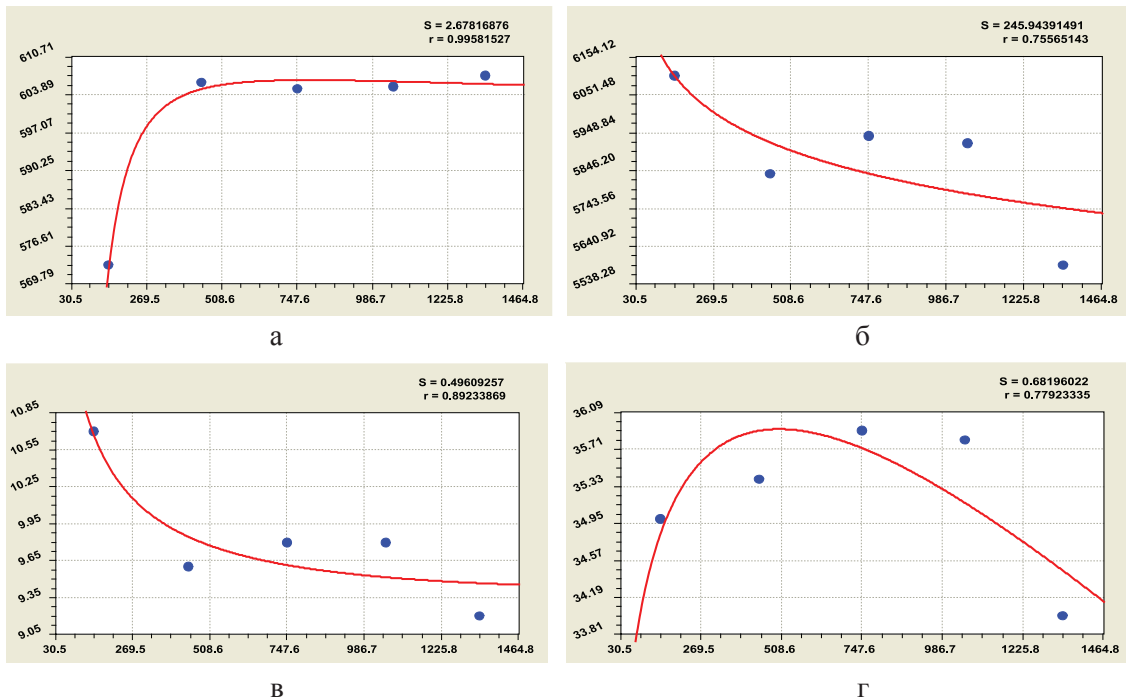


Рис. 4. Акустические показатели вдоль березовой заготовки:
 а – плотность древесины; б – скорость ультразвука; в – акустическая константа;
 г – акустическое сопротивление

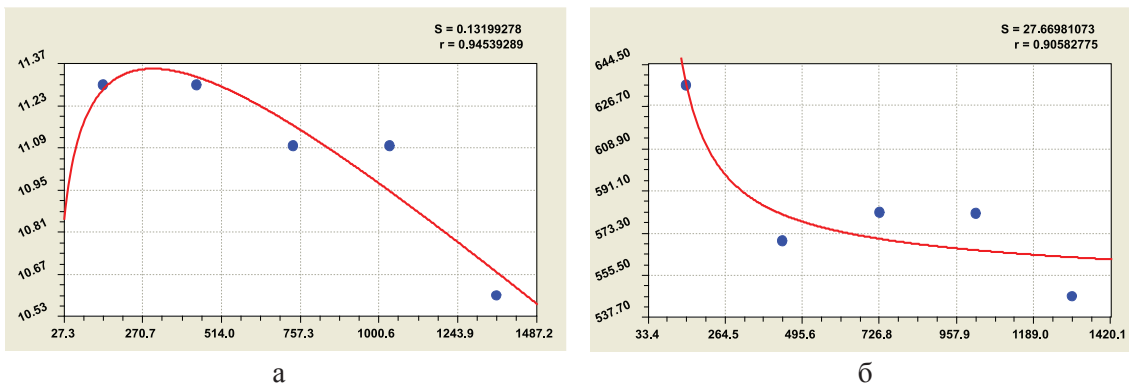


Рис. 5. Изменение акустической константы вдоль сосновой заготовки толщиной 20 мм (а) и плотности вдоль сосновой заготовки толщиной 40 мм (б) с учетом пороков древесины

Исключив точки показателей образцов древесины с пороками, зависимость акустической константы и плотности вдоль заготовок будет выглядеть в виде прямой (рис. 6).

Формулы изменения значений показателей будут в виде:

$$K = 14,38311 - 0,00019971x; \quad (5)$$

$$\rho = 437,93211 - 0,011891x. \quad (6)$$

Значение акустической константы и плотности заготовки можно считать постоянными, разность в показателях незначительная, соответственно 1,67 и 2,7%.

Выводы

Для исключения влияния наклона волокон на акустические показатели лыжные заготовки необходимо озвучивать строго в продольном направлении волокон в трех точках по ширине черновой заготовки и принимать среднее значение. Влияние длины на акустические показатели лыжной заготовки длиной 300...1500 мм незначительное, что позволяет испытывать черновые заготовки разной длины. Ультразвуковым методом можно выявлять пороки древесины самих черновых заготовок. Значения акустических показателей у заготовок пороками резко отличаются от образцов древесины без пороков.

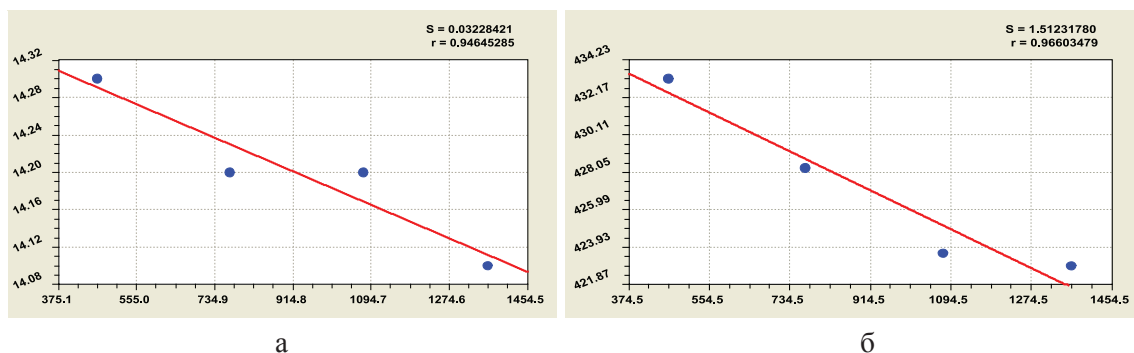


Рис. 6. Изменение акустической константы вдоль сосновой заготовки толщиной 20 мм (а) и плотности вдоль сосновой заготовки толщиной 40 мм (б) с учетом пороков древесины

Подробнее о моделировании: набрать в Google «Мазуркин Петр Матвеевич» Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/12032 МОН РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колесникова А.А. Исследование свойств древесины по кернам. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 178 с.
2. Мазуркин П.М. Дендрометрия. Статистическое древоведение: учебное пособие. – Часть 2. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 205 с.
3. Макарьева Т.А. Исследование акустических характеристик древесины, используемой для музыкальных инструментов, и разработка методов контроля в условиях производства: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МЛТИ, 1976. – 200 с.
4. Никишов В.Д. Исследование механических свойств древесины неразрушающими методами: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МЛТИ, 1966. – 192 с.