

УДК 630*811.112

МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ ВДОЛЬ ВОЛОКОН НА СТАНДАРТНОМ ОБРАЗЦЕ

П.М. Мазуркин, Е.Б. Темнова

Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола,

✉ kaf_po@mail.ru

В процессе отбора на производстве резонансными заготовками для изготовления деталей музыкальных инструментов принято считать те, которые в ходе заводского контроля по показателю акустической константы должны быть больше $13 \text{ м}^4/(\text{кг с})$. Но эти детали могут иметь длину по волокнам менее 300 мм. Поэтому необходим метод учета масштабного фактора при любой длине испытуемого образца, например из древесины ели, сечением 20x20 мм, но при длине вдоль волокон древесины менее 300 мм.

Выявлены закономерности масштабного фактора акустических показателей древесины вдоль волокон при прохождении ультразвуковых колебаний и показана методика испытания на короткомерных прямоугольных образцах.

Ключевые слова: музыкальные инструменты, детали, образцы древесины, ультразвук.

THE SCALE FACTOR ULTRASONIC TESTING FIR WOOD ALONG THE GRAIN TO THE STANDARD SAMPLES

P.M. Mazurkin, E.B. Temnova

Mari State Technical University, Yoshkar-Ola, Russia

✉ kaf_po@mail.ru

In the selection process for the production of resonant billets for production of parts of musical instruments is considered to be those in the factory control in terms of acoustic constants must be greater than $13 \text{ m}^4 / (\text{kg s})$. But these details can have a length of fibers less than 300 mm. Therefore, a method to account for the scale factor for any length of the test sample, such as a fir wood, section 20x20 mm, but the length along the wood fibers less than 300 mm.

The regularities of the scale factor of acoustic performance of wood along the grain during the passage of ultrasonic vibrations and the technique of short rectangular test samples.

Keywords: musical instruments, parts, wood samples, ultrasound.

Во многих методах ультразвуковых испытаний древесины применяют стандартный образец в форме прямоугольного бруска размерами $20 \times 20 \times 300$ мм, например по [1]. Однако, в современных научно-производственных условиях требуется оперативное косвенное испытание древесины на образцах древесины малой длины, чтобы сэкономить ценную и высококачественную древесину, например в производстве музыкальных инструментов.[6]. В большинстве случаев используется резонансная древесина ели. При этом, по результатам исследований [2, с.17], в процессе отбора на производстве резонансными заготовками для изготовления деталей музыкальных инструментов принято считать те, которые в ходе заводского контроля по показателю акустической константы должны быть больше $13 \text{ м}^4/(\text{кг} \cdot \text{с})$. Но эти детали могут иметь длину по волокнам менее 300 мм.

Поэтому необходим метод учета масштабного фактора при любой длине испытуемого образца, например из древесины ели, сечением 20×20 мм, но при длине вдоль волокон древесины менее 300 мм.

Цель статьи — выявить статистические закономерности масштабного фактора акустических показателей древесины вдоль волокон при прохождении ультразвуковых колебаний (УЗК) и показать методику испытания на короткомерных прямоугольных образцах.

Все измерения были выполнены на одном стандартном образце из древесины ели, что позволило исключить влияние свойств самой древесины. Стандартный образец озвучивался ультразвуковым прибором «Пульсар-1.0» при пяти повторях измерений, а затем отпиливался отрезок длиной

около 50 мм. После этого остаток длиной 250 мм и отрезок длиной 50 мм снова озвучивали, а результаты измерений записывали. Так продолжали отпиливать от остатка стандартного образца отрезки убывающей длины и измерять время прохождения ультразвука с частотой 60 кГц на датчиках через остатки и отрезки.

Контакт датчиков (излучатель и приемник) прибора «Пульсар-1.0» при плоской поверхности требует высокого качества формы и чистоты обработанной поверхности торцов остатков и отрезков от стандартного образца. Поэтому, по нашему патенту [5], применяли конусные насадки № 2 [7], которые были выбраны в ходе тарировочных испытаний на эталонном образце из оргстекла заводского изготовления, а также на самом испытуемом стандартном образце из древесины ели.

Длина обеих конусных насадок была по 47,4 мм при угле конуса в 42 градуса, причем эти насадки были изготовлены, с посадочными местами (рис. 1) на датчики, из ленинградской стали с закалкой в масле. Насадки просты по конструкции.

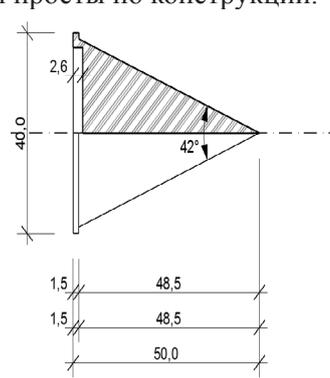


Рис. 1. Конусная насадка № 2 на датчик прибора «Пульсар-1.0»

Стандартный датчикот прибора «Пульсар-1.0» в таблице 1 показан под № 0. Он имеет

плоскую форму контактной поверхности и угол конуса в 180 град. Для неплоских поверхностей образца соприкосновение должно быть точечным (при пренебрежимо малом углублении в древесину). В насадке № 2, для снижения погрешности измерения по времени прохождения УЗК, цилиндрический участок был исключен с оставлением первоначального угла острия конусной насадки в 42 град. При этом уменьшается общая длина насадки до 47,4 мм.

При тарировке время t (микросекунды) прохождения УЗК через стандартный образец из древесины ели измерялось с тремя повторами.

Таблица 1

Время прохождения УЗК, мкс

Излучатель	Приемник	
	№0	№2
№ 0	62,7	69,8
	62,7	69,7
	62,8	69,8
№ 2	70,2	78,3
	70,0	78,3
	70,1	78,3

Сравнение показало, что длина конусной насадки более 35-40 мм удобнее в эксплуатации из-за того, что не мешает измерениям на неровной поверхности бесформенных образцов древесины. Для сертификации древесины в виде образцов неплоской формы, например, поленьев по патенту № 2334984 [5], оказалось удобным угол конуса в 42 град. Удобнее применять два одинаковых насадка на датчиках (излучателе и приемнике).

Среднее время УЗК будет равно для датчика № 0 $(62,7 + 62,7 + 62,8) / 3 = 62,73$ мкс, а эти же датчики с насадками № 2 — $(78,3 + 78,3 + 78,3) / 3 = 78,30$ мкс. Разница между ними составит $78,30 - 62,73 = 15,57$ или округленно 15,6 мкс. Потери времени на две конусные насадки № 2, при испытании древесины вдоль волокон, будут равны 15,6 мкс.

Результаты основных испытаний по остаткам и отрезкам от стандартного образца из древесины ели $20 \times 20 \times 300$ мм приведены в данных таблицы 2 и таблицы 3.

Таблица 2

Остатки после отпиливания от стандартного образца

№ п/п	Длина отрезка, мм		Время УЗК (по повторам), мкс				
	теорет.	фактич.	1	2	3	4	5
1	300	300,1	78,3	78,3	78,4	78,4	78,4
2	250	249,2	69,1	69,1	69,1	69,2	69,1
3	200	198,9	60,6	60,5	60,6	60,6	60,5
4	160	159,2	54,3	54,2	54,2	54,1	54,2
5	120	118,9	49,0	49,0	48,9	48,9	49,0
6	100	98,7	46,6	46,5	46,5	46,5	46,5
7	80	80,3	43,0	43,0	42,9	42,9	43,0
8	60	59,3	34,6	34,5	34,6	34,5	34,5
9	40	40,4	30,6	30,6	30,6	30,6	60,5
10	30	30,0	28,8	28,8	28,9	28,9	28,9
11	20	20,2	27,4	27,3	27,3	27,3	27,3
12	10	10,9	25,8	25,9	25,8	25,8	25,8
13	5	4,3	24,5	24,5	24,5	24,6	24,5

Общая длина всех отрезков равна 281,7 мм и на все пропилены приходится 18,3 мм. Вначале статистическое моделирование было выполнено по двум выборкам из 65 и 60 пар значений длины остатков и от-

Таблица 3

Отрезки после отпиливания от стандартного образца

№ п/п	Длина отрезка, мм		Время УЗК (по повторам), мкс				
	теорет.	фактич.	1	2	3	4	5
1	0	0	-	-	-	-	-
2	50	49,8	33,3	33,3	33,4	33,2	33,3
3	50	49,2	33,0	33,1	33,2	33,1	33,1
4	40	39,1	30,8	30,9	30,8	30,9	30,8
5	40	39,5	31,0	30,9	31,0	30,9	31,0
6	20	19,0	27,2	27,2	27,3	27,1	27,2
7	20	19,2	28,0	28,1	28,0	28,1	28,0
8	20	20,3	27,6	27,6	27,6	27,5	27,7
9	20	18,5	27,2	27,2	27,3	27,2	27,3
10	10	9,6	25,9	25,9	25,8	25,8	25,9
11	10	9,1	25,6	25,7	25,6	25,7	25,8
12	10	8,4	25,4	25,5	25,5	25,5	25,5
13	5	6,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0

резков по отношению к времени УЗК. Затем обе выборки были объединены в одну с общим количеством 125 наблюдений. Оказалось, что погрешности измерения длины в $\pm 0,05$ мм (цена деления по [1] в 0,1 мм) и отсчета времени УЗК на приборе «Пульсар-1.0» в $\pm 0,05$ мкс (цена деления 0,1 микросекунды) вполне позволяют уловить новый физический эффект.

Это — биотехническое возбуждение омертвевших клеток древесины при акустическом резонансе и росте потерь времени на малых длинах образцов. Иначе говоря, мицеллы, как гирлянды из клеток древесины, начинают поглощать внешнюю энергию ультразвука, увеличивая время прохождения УЗК.

Этот новый физико-акустический эффект можно будет применять при изучении

клеточных структур древесины, например, по годичным слоям.

Такая высокая точность при выявлении статистических закономерностей изменения акустических показателей в зависимости от длины озвучиваемого образца от 5 до 300 мм (см. данные табл. 2 и табл. 3) достигается, прежде всего, отказом от классической статистики и от параметра «среднее арифметическое значение». Все наблюдения, без их группировки и последующего усреднения, учитываются при моделировании в программной среде CurveExpert-1.38 или же другой более новой версии CurveExpert-1.40.

Табличная модель, состоящая из двух статистических выборок, затем объединенных вместе для статистического моделирования идентификацией биотехнического закона

Таблица 4

Табличная модель с вычетом времени на конусные насадки 15,6 мкс, акустическая константа, кг/м³

№ п/п	Остатки после отрезания от стандартного образца				Отрезки после отрезания от стандартного образца			
	Длина остатка L, мм	Время УЗК, t, мкс	Скорость УЗК, м/с	Акустич. константа, м ⁴ /(кг с)	Длина отрезка, мм	Время УЗК, мкс	Скорость УЗК, м/с	Акустич. константа, м ⁴ /(кг с)
1	300.1	62.7	4786.28	11.43	49.8	17.7	2813.56	6.72
2	249.2	53.5	4657.94	11.12	49.2	17.4	2827.59	6.75
3	198.9	45.0	4420.00	10.55	39.1	15.2	2572.37	6.14
4	159.2	38.7	4113.70	9.82	39.5	15.4	2564.94	6.12
5	118.9	33.4	3559.88	8.50	19.0	11.6	1637.93	3.91
...
56	159.2	38.6	4124.35	9.85	18.5	11.7	1581.20	3.78
57	118.9	33.4	3559.88	8.50	9.6	10.3	932.04	2.23
58	98.7	30.9	3194.18	7.63	9.1	10.2	892.16	2.13
59	80.3	27.4	2930.66	7.00	8.4	9.9	848.49	2.03
60	59.3	18.9	3137.57	7.49	6.0	8.4	714.29	1.71
61	40.4	14.9	2711.41	6.47				
62	30.0	13.3	2255.64	5.39				
63	20.2	11.7	1726.50	4.12				
64	10.9	10.2	1068.63	2.55				
65	4.3	8.9	483.15	1.15				

проф. П.М. Мазуркина, фрагментарно приведена в данных таблицы 4.

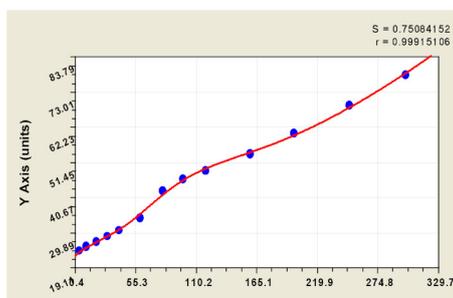
Объясняющей переменной становится длина L остатка или отрезка от стандартного образца по его длине, то есть вдоль волокон. Показателями были приняты следующий ряд зависимых факторов:

время прохождения УЗК t' без учета затрат на преодоление конусных насадок;

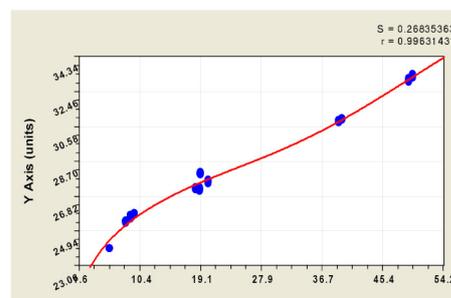
время прохождения УЗК t через конусные насадки на датчиках с вычетом на преодоление конусных насадок в 15,6 мкс, то есть при $t=t'-15,6$ мкс;

скорость ультразвука \check{N} как отношение пути L ко времени УЗК t на прохождение образца древесины вдоль волокон (без конусных насадок) при $C=L/t$;

акустическая константа K как отношение скорости УЗК C к постоянной для всего



а) по остаткам от стандартного образца ели



б) по отрезкам от стандартного образца ели

Рис. 2. Графики изменения времени УЗК от длины остатков (а) или отрезков (б) от стандартного образца

стандартного образца плотности \check{r} древесины ели, то есть $K=C/\check{r}$.

Время УЗК без учета насадок. Вначале для остатков от стандартного образца ели после отпиливания была получена статистическая модель, содержащая две составляющие: во-первых, закон экспоненциального роста показателя (классический общеизвестный в различных отраслях наук закон); во-вторых, закон стрессового воз-

буждения показателя по биотехническому закону П.М. Мазуркина по формуле

$$t' = 22,60664 \exp(0,022581L^{0,70322}) + 17607917,0L^{30,22749} \exp(-63,58937L^{0,19214}) \quad (1)$$

Аналогичная двухчленная модель получалась и по отрезкам от стандартного образца в виде уравнения (рис. 2)

$$t' = 4,82151 \exp(1,45373L^{0,061426}) +$$

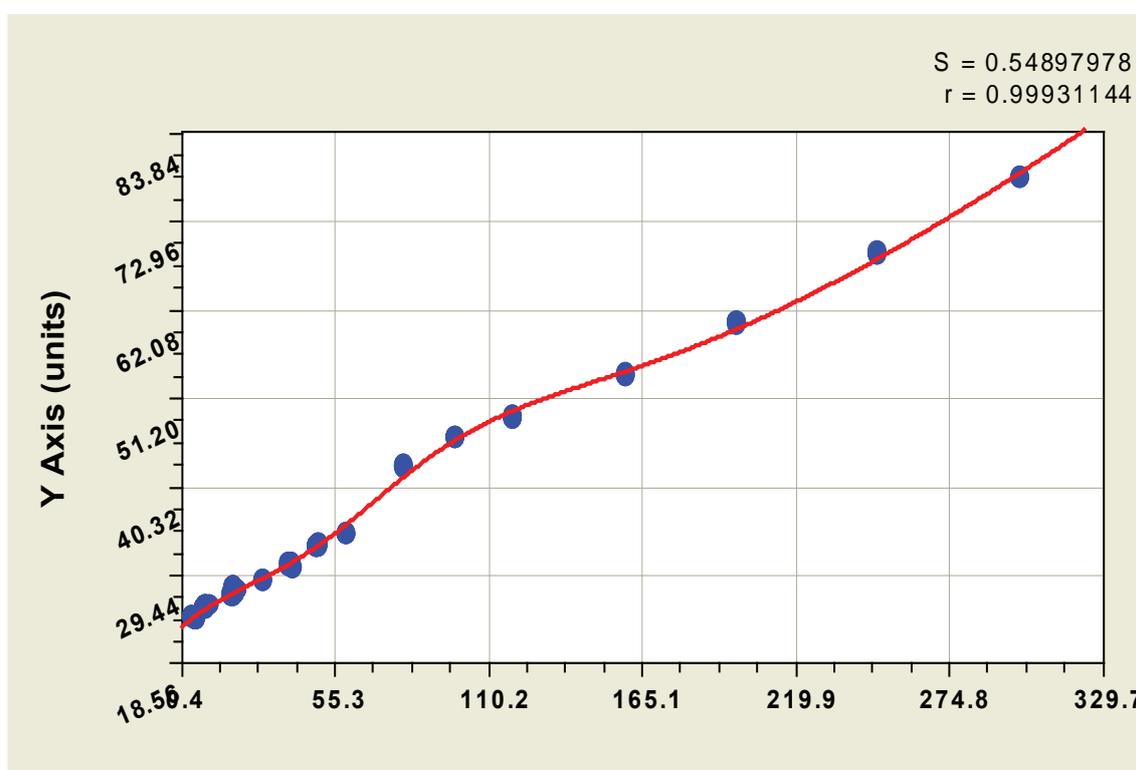


Рис. 3. График изменения времени УЗК от длины остатков и отрезков от стандартного образца

$$+74499236,0L^{31,21611} \exp(-63,16732L^{0,20207}) \quad (2)$$

Из графика на рисунке 2б четко видно, что физико-акустический эффект наблюдается на длинах образцов до 30 мм. Второй эффект заметен на рис. 2а на участке

50-160 мм. Если объединить эти две выборки, то указанные эффекты суммируются (рис. 3), и была получена закономерность вида

$$t' = 22,74518 \exp(0,023628L^{0,69469}) + 26274319,0L^{34,03413} \exp(-70,46169L^{0,19384}) \quad (3)$$

Совместное моделирование двух выбо- рок дает больший коэффициент корреляции 0,9993. Высокая адекватность модели (3) позволяет рекомендовать способ производ- ству.

Данный способ измерения без учета по- терь времени на конусные насадки удобен для производственных испытаний, так как не требует сложной тарировки и учитывает любую насадку к датчикам заводского из-

Таблица 5

**Амплитудно-частотная характеристика времени
УЗК без учета насадок по модели (4)**

№ <i>i</i>	Амплитуда колебания,				Полупериод и сдвиг колебания, сутки				Кэфф. коррел.
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	22.82538	0	-0.023788	0.69333	0	0	0	0	0.9997
2	19768845	34.035814	70.47594	0.19358	0	0	0	0	
3	3.73412e-5	2.58880	0.0074282	1.13226	52.31587	-8.20398e-5	2.020736	-0.87328	
4	1.034288e-14	8.77951	0.0022430	1.78691	4.71272	0.0030985	1.52993	-4.17294	0.7015
5	-1.87766	1.41605	0.67466	0.90159	4.59244	-0.082387	1.020982	-1.40870	0.7211
6	-5.94248e-47	46.13404	1.59928	0	12.29466	-0.047133	0	0.83717	0.4777
7	1.28753e-9	8.58090	0.065134	1.53320	0.60342	0.011219	0.99630	5.86392	0.4934
8	-0.00073169	1.88613	0.059389	0.99948	4.66364	-0.020632	1.000041	-1.14217	0.2573
9	-1.19691e-22	20.64130	0.67395	1.004236	0.88453	0.0014326	1.073223	1.37285	0.3033
10	4.010086e-6	3.74373	0.16422	0.84697	2.31313	-0.0074084	0.99351	-3.75828	0.2276
11	-8.21272e-24	24.51166	0.86489	1.059427	0.56528	0.00076800	0.58586	-2.96700	0.8938
12	2.049647e-15	7.25842	0.037522	1.001051	118.6568	-0.094623	1.0022255	1.62841	0.2344
13	0.00020650	2.34557	0.087700	1.027862	1.084533	-0.00069537	0.91315	-1.78349	0.2033
14	-3.11587e-8	6.54707	0.29700	0.99424	17.64968	-0.053551	1.085005	-4.061085	0.09653
15	-4.90158e-20	14.52519	0.26842	1.053654	0	0	0	6.15580	0.1097

готовления как общую систематическую ошибку.

Общая закономерность. К двум состав- ляющим уравнения три удалось дополнить еще 14 волновых уравнения, которые имеют устойчивая закономерность вида

$$y = \sum_{i=1}^m y_i$$

$$y_i = a_{1i} L^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} L^{a_{4i}}) \cos(\pi L / (a_{5i} + a_{6i} L^{a_{7i}}) - a_{8i}) \quad (4)$$

где y — изучаемый показатель, в данном случае время t' , мкс; i — номер составляю- щей (табл. 5); m — общее количество чле- нов модели, в данном случае $m=15$; $a_1...a_8$ —

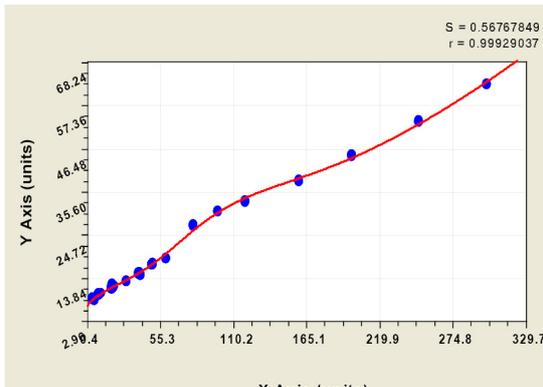
параметры обобщенной модели типа (4), характеризующие амплитудно-частотную характеристику физико-акустических эф- фектов клеточной структуры древесины ели.

Три составляющие по данным таблицы 5 дают адекватность модели (4) в виде коэф- фициента корреляции 0,9997. Это значение мало отличается от графика на рисунке 3, равное 0,9993. Однако тот факт, что чет- вертая составляющая к остаткам от пред- ыдущих уравнений дает коэффициент корреляции 0,7015, заставляет задуматься над микроскопическими эффектами, кото-

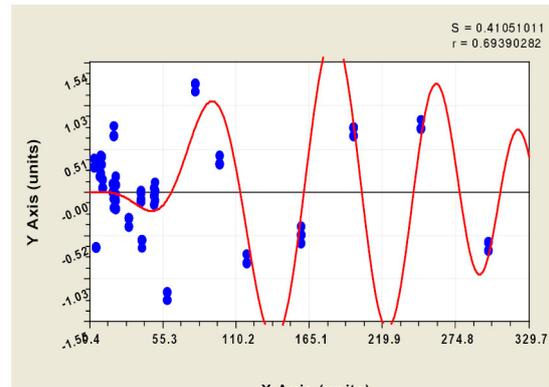
Таблица 6

Амплитудно-частотная характеристика времени УЗК с учетом насадок по модели (4)

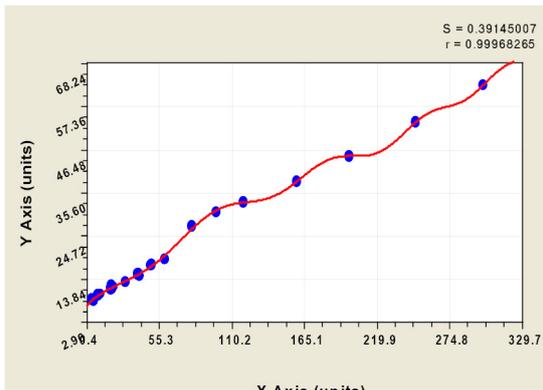
№ <i>i</i>	Амплитуда колебания,				Полупериод и сдвиг колебания, сутки				Кэфф. коррел.
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	6.53421	0	-0.14082	0.48666	0	0	0	0	0.9997
2	22295797	30.58921	64.83384	0.19070	0	0	0	0	
3	1.57733e-5	2.79340	0.0061413	1.17348	56.057812	-0.00022864	1.92455	-1.21729	
4	2.92142e-13	7.97237	0.0027537	1.73494	5.25385	0.0013336	1.69990	-11.83650	0.7385
5	-2.38479	0.97323	0.70238	0.79380	4.37320	-0.069438	1.044073	-1.17709	0.7063
6	1.029661e-41	39.17801	1.058775	1.046353	9.33099	0.85633	0	0	0.4058
7	3.64565e-24	30.028112	2.05200	0.95970	0.39063	0.0044756	1.032066	5.85337	0.8524
8	1.16129e-75	52.080141	0.24294	1.25255	0	0	0	0	0.3876
9	1.0255e12	10.0059	0.27650	1	0.14037	-1.88861e-8	0.99999	-2.44301	0.5247
10	0.011600	0	-0.017841	0.80076	224.066	-0.66052	0.83740	-2.15814	0.2560
11	-0.0087243	1.57638	0.39164	0.71933	1.012932	0.0066021	0.95836	-0.67983	0.2908
12	-2.91504e-9	15.73953	1.93126	1.008407	0	0	0	0	0.2274
13	-2.083647e-11	13.31683	0.90614	1.0000002	0.24516	-4.20375e-8	0	3.0032368	0.2743
14	-3.56927e-14	16.85901	1.11588	1.015623	12.037233	-0.0022258	1.92291	-1.095352	0.1122
15	-6.35976e-9	7.18120	0.30971	1.00000	0.53547	5.27676e-9	0	-2.17117	0.1438
16	1.85304e-10	5.47115	0.071391	0.96795	29.23144	0.057384	1.057384	6.043205	0.1786



Первая и вторая составляющие



Третья составляющая



Общий график первых трех составляющих

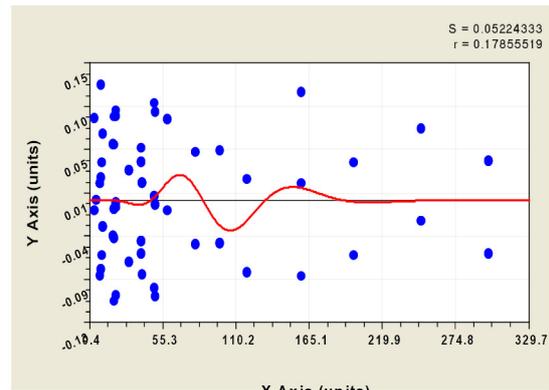


График 16-ой составляющей модели

рые относятся к изучению свойств клеток древесины.

Время с учетом конусных насадок. По формуле (4) была получена матрица па-

раметров модели (табл. 6) для времени t без учета затрат на конусные насадки.

Сравнение показывает, что по сравнению с предыдущим анализом, количество состав-

ляющих модели типа (4) выросло на одно волновое возмущении и стало $m=16$. исключение систематической ошибки улучшило идентификацию микро эффектов.

Таблица 7

Амплитудно-частотная характеристика скорости УЗК с учетом насадок по модели (4)

№ i	Амплитуда колебания				Полупериод и сдвиг колебания, сутки				Коэфф. коррел.
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1*	5445.1958	0	0.040585	0.69796	0	0	0	0	0.9992
2	-96.85926	0.39638	7.40969e-6	2.51259	59.83265	1.79820e-5	2.41915	-0.99012	0.7561
3	-6.57157e-32	24.39622	0.38061	1.0014617	14.80385	6.040138e-5	2.13334	3.21154	0.6511
4	4.54489e-8	8.87410	0.28669	1.011090	0.94838	0.00023576	1.30817	4.10071	0.5255
5	-0.44594	0.82021	0	0	66.12885	8.038424e-5	2.0019898	0.35090	0.6109
6	57110.018	0	4.31982	0.28031	3.83790	-0.44176	0.29359	-0.013770	0.4533
7	0.00077651	6.014481	0.39135	0	0.25160	-1.023268	0	0	0.5585
8	-0.28322	35.01571	37.19131	0.33070	0.51378	0.40188	0	0	0.5915
9	67.32605	11.35348	13.65159	0.31705	1.78119	-0.41751	0.13649	-8.036395	0.4534
10	-6.71917e-10	5.99998	0.0025782	1.5140	2.014035	1.35871	0	0	0.5592
11	-2.51050e-19	25.85620	1.59860	1.000001	0.29642	1.88173e-7	0	2.56746	0.2961
12	2.52703e-5	3.83886	0.048079	0	6.69438	-0.011641	1.0095905	-4.67595	

Примечание. * По структуре формулы (5).

На рисунке 4 приведены графики нескольких составляющих всей модели.

Скорость ультразвука. Погрешности измерений равны $\pm 0,05$ мм по длине и $\pm 0,05$ мкс по времени. Поэтому скорость УЗК приводится с двумя знаками после запятой.

Первая составляющая имеет другую конструкцию (рис. 5) в виде формулы

$$C = 4991,333(1 - \exp(-0,048136L^{0,71131})) \quad (5)$$

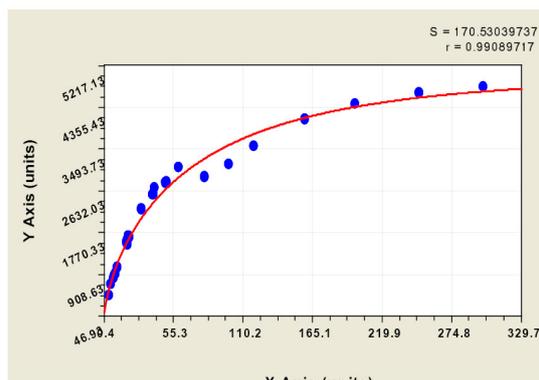
Параметры модели (5) таковы, что значение 4991,3 м/с показывает предельную скорость на бесконечно длинном образце из древесины ели. Матрица дана в таблице 7.

Заметно снизилось количество составляющих, потому что показатель скорости УЗК становится инвариантным по отноше-

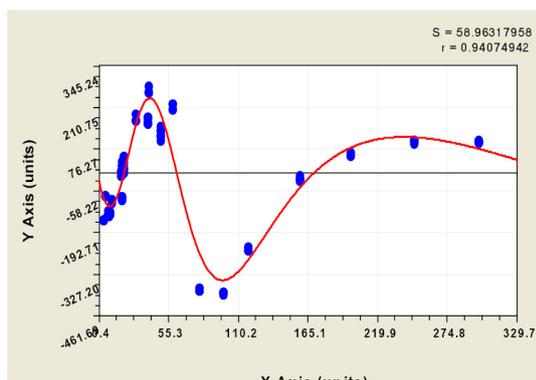
нию к различным длинам образцов. Тогда можно определить условия применимости того или иного показателя: время учитывается при постоянной длине пути прохождения ультразвука, а скорость ультразвука применяется при разных расстояниях озвучивания (рис. 5).

Из данных таблицы 7 видно, что каждая волновая составляющая имеет тесноту связи выше слабой, то больше по коэффициенту корреляции 0,3 (кроме 12-ой).

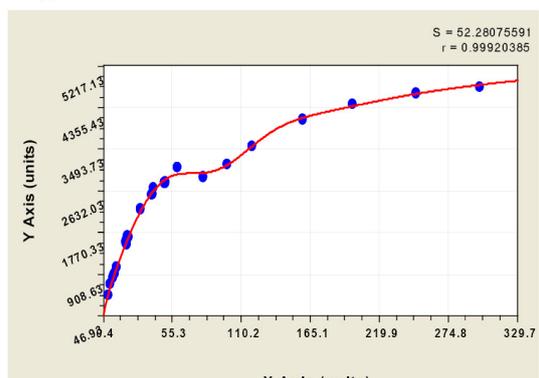
Плотность древесины [3] переменная физическая величина вдоль ствола у растущего дерева. Поэтому можно вычислять акустическую константу и/или акустическое сопротивление [2, с.16] по разным участкам и точкам ствола растущего лесного дерева. В статье приводим только анализ показателя «акустическая константа».



Модель по формуле (5)



Волна по остаткам от модели (5)



Общий график первых двух составляющих

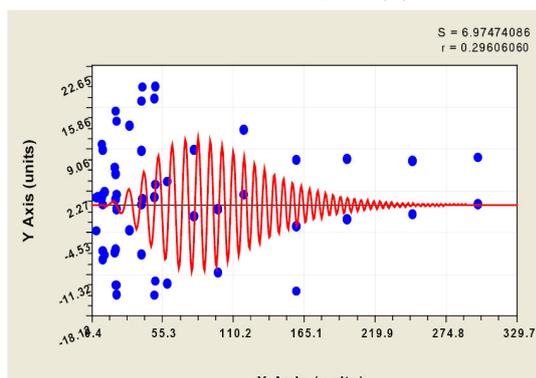


График 12-ой составляющей модели

Рис. 5. Графики скорости УЗКС от длины образца, с вычетом времени на конусные насадки

Таблица 8

Плотность древесины по отрезкам от стандартного образца

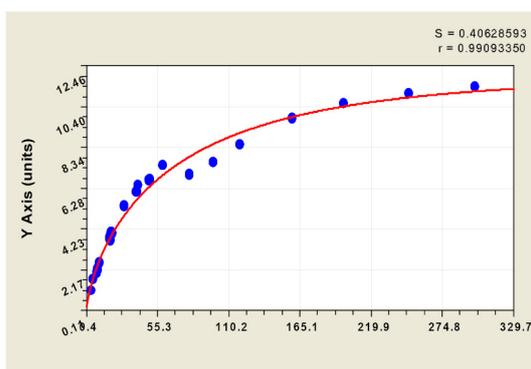
№ п/п	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Объем, мм ³	Масса, г	Плотность, кг/м ³
1	49,6	20,1	20,2	20138,59	8,463	420,2
2	49,3	20,3	20,2	20215,96	8,324	411,8
3	39,1	20,1	20,0	15718,20	6,610	420,5
4	39,4	20,3	20,0	15996,40	6,666	416,7
5	18,9	20,4	20,1	7749,76	3,224	416,0
6	19,0	20,6	19,9	7788,86	3,312	425,2
7	19,5	20,1	20,0	7839,00	3,362	428,9
8	18,2	20,0	20,1	7316,40	3,022	413,0
9	9,9	19,9	20,1	3959,90	1,544	389,9
10	10,3	20,0	19,9	4099,40	1,385	337,9
11	8,4	19,8	19,8	3293,14	1,318	400,2
12	5,1	20,0	19,7	2009,40	0,876	436,0
13	4,4	19,9	19,3	1689,91	0,706	417,8
					Σ	4606,3
					среднее	418,8

Этот производный показатель вычисляется как отношение скорости ультразвука к плотности древесины, которая для стандартного образца нами принимается постоянной величиной, равной 418,8 кг/м³ (табл. 8).

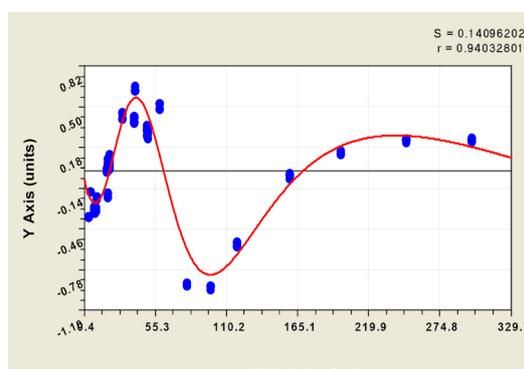
Заметно, что некоторые отрезки имеют малую плотность, и эти данные мы исключили из расчета среднеарифметической плотности. В будущем можно учитывать

денсиметрическое распределение по древесине на разных местах ствола лесного дерева.

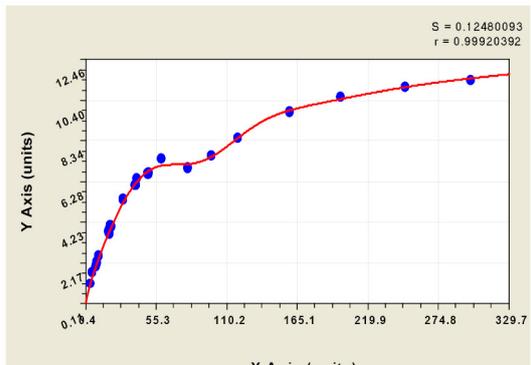
Различие показателя плотности в разных точках даже у стандартного образца определяется наличием пустот и смоляных кармашков в древесине. Поэтому даже на микро уровне измерений в будущем нужно учитывать различие в плотности, а это означает различие и в показателях акустической



Модель по формуле (6)



Волна по остаткам от модели (6)



Общий график первых двух составляющих

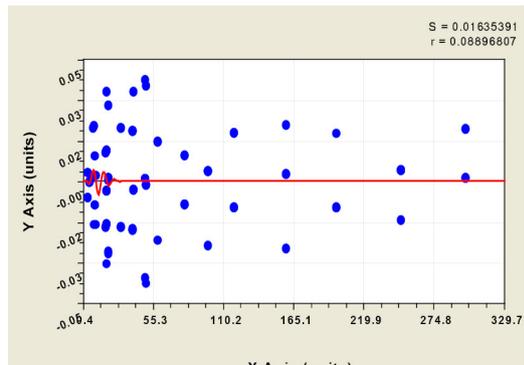


График 16-ой составляющей модели

Рис. 5. Графики скорости УЗКС от длины образца, с вычетом времени на конусы насадки

константы и акустического сопротивления древесины. Известно также, что плотность резко различается в каждом годичном слое по поздней и ранней древесине (почти в два раза).

Акустическая константа. Из-за принятого постоянства плотности первая состав-

ляющая имеет конструкцию (рис. 6), как и у скорости ультразвука, в виде формулы

$$K = 1,92018(1 - \exp(-0,048178L^{0,71101})) \quad (6)$$

Параметры модели (6) таковы, что значение $11,92 < [K] = 13 \text{ м}^4/(\text{кг с})$ и показы-

вает предельную акустическую константу на бесконечно длинном образце из древесины ели, которая меньше нормативного значения для отнесения образца к резонансной древесине. При этом получилось 16 составляющих и этот факт указывает на то, что, при точном измерении плотности древесины в точках озвучивания, можно в будущем проводить тонкие физико-акустические исследования древесины.

С учетом волновой составляющей, то есть по формуле первых двух составляющих,

$$K = K_1 - K_2,$$

$$K_1 = 12,98741(1 - \exp(-0,040695L^{0,69795}))$$

$$K_2 = A \cos(\pi L / p + 0,98465)$$

$$A = 0,23667L^{0,38753} \exp(-6,96055 \cdot 10^{-6} L^{2,52091})$$

$$p = 59,6177 + 2,01731 \cdot 10^{-5} L^{2,41124} \quad (7)$$

расчетное значение акустической константы достигло 12,99. А это уже близко к резонансной древесине, поэтому нужно испытывать детали музыкальных инструментов для установления нормативного значения допустимой акустической константы.

Приведенные результаты исследования масштабного фактора позволяют расширить функциональные возможности комплексного исследования древесины [4], причем неразрушающими методами непосредственно на растущем дереве в условиях леса.

Список литературы

1. ГОСТ 16483.31-74. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний. — М.: Изд-во стандартов, 1974. — 8 с.

2. Колесникова, А.А. Исследование свойств древесины по кернам / А.А. Колесникова. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. — 178 с.

3. Мазуркин, П.М. Изменение плотности древесины по высоте дерева / П.М. Мазуркин, Р.И. Винокурова, Е.В. Тарасенко, В.Ю. Осипова // Лесной журнал. — 2000. — №3. — С. 102–108.

4. Мазуркин, П.М. Перспективы комплексного исследования древесины / П.М. Мазуркин // Деревообрабатывающая промышленность. — 1997. — №4. — С. 27-29.

5. Пат. 2334984 Российская Федерация, МПК G01N33/46 (2006.01). Способ ультразвукового испытания поленьев резонансной древесины / Мазуркин П.М., Темнова Е.Б. (РФ); заявитель и патентообладатель Марийск. гос. тех. ун-т. — №2006126506/12; заявл. 20.07.2006; опубл. 27.09.2008.

6. Темнова, Е.Б. Применение ультразвука в определении резонансных свойств древесины поленьев / Е.Б. Темнова // Успехи современного естествознания. — 2009. — № 8. — С. 8–15.

7. Темнова, Е.Б. Время распространения ультразвуковых колебаний через конусные насадки в эталонном образце из оргстекла / Е.Б. Темнова, П.М. Мазуркин // Казанская наука. — № 1. — 2010. — Казань: Изд-во Казанский Издательский Дом, 2010. — С.23–28.

Статья подготовлена и опубликована при поддержке гранта 3.2.3/4603 МОН РФ/