

Измерение напряжений с помощью «ИНТРОСКАН» (шумов Баркгаузена)

Оглавление

1 Введение	3
2 Эксперимент	
2.1 Серия экспериментов предварительных	
2.2 Серия экспериментов №1	
2.3 Серия экспериментов №2	
3 Выводы	
4 Продолжение	
Приложение А. Результаты серии экспериментов предварительных	
Приложение Б. Результаты серии экспериментов №1	
Образцы с толщиной 4 мм.	
Образцы с толщиной 8 мм	21
Приложение В. Обработка результатов серии экспериментов №1	
Образцы с толщиной 4 мм.	
Образцы с толщиной 8 мм	
Приложение Г. Результаты серии экспериментов №2	
Образцы с толщиной 4 мм	
Образцы с толщиной 8 мм.	
Приложение Д. Обработка результатов серии экспериментов №2	
Образцы с толщиной 4 мм.	
Образцы с толщиной 8 мм.	



1 Введение

Магнитошумовой анализатор напряжений и структуры металлов «ИНТРОСКАН» (рис. 1.1) предназначен для возбуждения магнитного шума (шума Баркгаузена) в объектах из ферромагнитных материалов путём их локального перемагничивания, преобразования магнитного шума в электрический сигнал, обработки, измерения и вывода информации об его интенсивности.

«ИНТРОСКАН» используется для контроля внутренних механических напряжений, толщины упрочненного слоя, выявления шлифовальных прижогов, зон термического влияния и других физико-механических параметров ферромагнитных материалов и изделий при наличии корреляционной связи между шумами Баркгаузена и физико-механическими свойствами.



Рис. 1.1. Общий вид «ИНТРОСКАН»

2 Эксперимент

Для определения зависимости между показаниями «ИНТРОСКАН» и напряжениями был изготовлен стенд и стальные образцы №№ 1-6 (рис. 2.1).

Стенд состоит из двух штоков, прикрепленных к образцу болтами, и талрепа. При повороте кольца талрепа образец изгибается, при этом в нем образуются одноосные изгибные напряжения.



Рис.2.1. Стенд

Образцы №№ 1-6, представляют собой прямоугольные пластины 45x340 мм (рис. 2.2.) из Сталь 20 различной толщины и обработки (табл. 2.1).

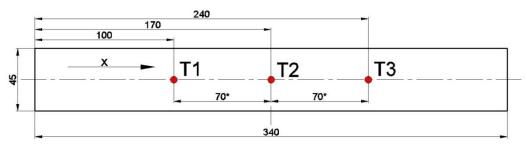


Рис.2.2. Геометрия образцов

Табл. 2.1. Толщины и обработка образцов

№ образца	Толщина, мм	Обработка		
1	4	W. O. O. D. D. V. O.		
2	8	поставка		
3	4	1		
4	8	фрезерование		
5	4			
6	8	ТИЖТО		



В образцах создавались напряжения от $-200 \text{ M}\Pi \text{a}$ до $+200 \text{ M}\Pi \text{a}$ с шагом 50 МПа, и снимались показания «ИНТРОСКАН» в трёх контрольных точках T1, T2, T3 (рис. 2.3).

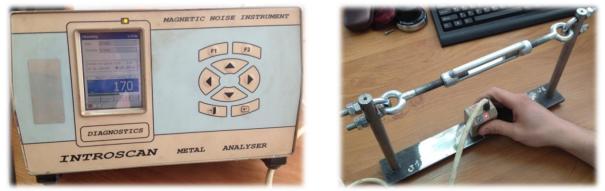


Рис.2.3. Измерение «ИНТРОСКАН»

Для определения необходимых перемещений концов штока для создания необходимых напряжений в программном комплексе ANSYS были созданы две расчетные модели стенда с образцами толщиной 4 мм (№№ 1,3,5) и 8 мм (№№ 2,4,6) и рассчитано их напряженно-деформационное состояние (НДС) (рис. 2.4).

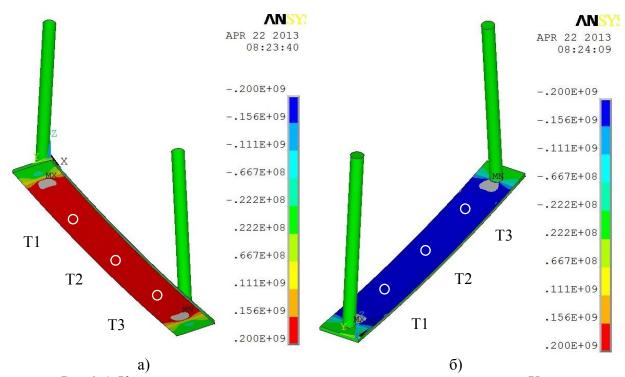


Рис.2.4. Карта распределения составляющей напряжений вдоль оси X в образце толщиной 4 мм при напряжении в 200 МПа (масштабный коэффициент деформации 1): а) растягивающих; б) сжимающих.

Результаты расчетов представляют собой графики зависимости напряжений вдоль оси X от перемещений конца штока (рис. 2.5).

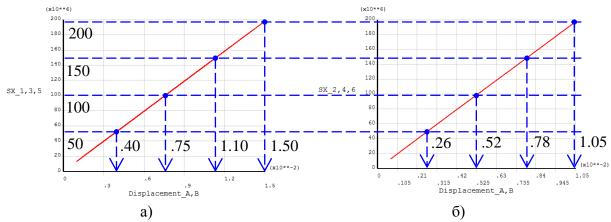


Рис.2.5. Зависимость составляющей напряжений вдоль оси X от перемещений конца штока для образцов с толщиной, МПа/см:

a) 4 мм (№№ 1,3,5)

б) 8 мм (№№ 2,4,6)

Результаты расчетов сведены в табл. 2.2.

Табл.2.2

Натрамачууа МПа	Перемещение конца штока для образцов с толщиной, см			
Напряжение, МПа	4 мм (№№ 1,3,5)	и 8 мм (№№ 2,4,6)		
0	0	0		
+50/-50	0.40	0.26		
+100/-100	0.75	0.52		
+150/-150	1.10	0.78		
+200/-200	1.50	1.05		

2.1 Серия экспериментов предварительных

В серии предварительных экспериментов была проанализирована погрешность измерений «ИНТРОСКАН»:

Серия экспериментов была проведена с образцом №3 (прил. А).

В каждой контрольной точке снимались текущее показание «ИНТРОСКАН».

Выводы:

В качестве порога чувствительности «ИНТРОСКАН» принимаем среднюю погрешность (погр.сред) измерений «ИНТРОСКАН» составляющую 10 ед.

2.2 Серия экспериментов №1

В серии экспериментов №1 были проанализированы влияния на показания «ИНТРОСКАН»:

- 1) основного параметра настройки «ИНТРОСКАН» Noise Band (полоса шума), остальные параметры были приняты в соответствии с рекомендацией по поверке образца.
 - 2) толщины образца.
 - 3) способа обработки образца.

Серия экспериментов №1 была проведена с образцами №№ 1-6, при изменении параметра Noise Band: 5...30, 5...200, 5...1000, 20...30, 20...200, 20...1000, 200...1000 (прил. Б).

В каждой контрольной точке снимались максимальное показание «ИНТРОСКАН». Результаты серии экспериментов №1 сведены в табл. 2.3 и табл. 2.4.





- выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при растягивающих напряжениях до +50 МПа, +100 МПа, +150 МПа, +200 МПа.
- выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при сжимающих напряжениях до -50 МПа, -100 МПа, -150 МПа, -200 МПа.
- выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при растягивающих и сжимающих напряжениях от -50 МПа до +50 МПа, от -100 МПа до +100 МПа, от -150 МПа до +150 МПа, от -200 МПа до +200 МПа.

Диапазон [МПа]— диапазон напряжений, в котором показания ИНТРОСКАН изменяются более порога чувствительности (10 ед.) на 50 МПа. Интенсивность — отношение изменения показаний ИНТРОСКАН в диапазоне к величине диапазона.

Табл. 2.3

			№ образца					
Noise Band, кГц	№ эксперимента	№ стороны	1	1	3	3	4	5
			диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность
530	1	1	-	-	-	-	-	-
330	2	2	-100+50	0,93	-50+150	0,56	-500	1,20
5200	3	1	-200+50	0,65	-50+150	0,33	-500	1,23
3200	4	2	-100+50	0,82	-50+200	0,42	-1500	0,40
51000	5	1	-150+50	0,49	-50+100	0,26	-500	0,89
31000	6	2	-1000	0,65	-50+150	0,26	-500	0,39
2030	7	1	-1500	0,67	-50+50	0,32	-500	1,03
2030	8	2	-100+50	0,56	-50+150	0,31	-500	0,67
20200	9	1	-2000	0,74	-50+200	0,32	-500	1,24
20200	10	2	-1500	0,73	-50+200	0,38	-1500	0,34
20 1000	11	1	-1000	0,43	+50+100	0,23	-500	0,21
201000	12	2	-1000	0,64	0+150	0,26	-500	0,42
2001000	13	1	-1000	0,50	0+100	0,20	-500	0,61
	14	2	-1000	0,43	+50+100	0,23	-500	0,21

Табл. 2.4

		№ стороны	№ образца					
Noise Band, κΓιι	№ эксперимента			2	4		6	
			диапазон	интервал	диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность
530	1	1	-	-	-	-	-	-
530	2	2	-200+150	300	-50+200	0,27	-200+50	0,96
5200	3	1	-1000	100	-50+50	0,38	-150+150	0,25
3200	4	2	-150+50	200	-	-	-15050	0,44
51000	5	1	-50+50	100	-	-	-150+50	0,30
31000	6	2	-1500	150	-	-	-1500	0,21
2030	7	1	-50+50	100	-50+100	0,20	-1500	0,33
2030	8	2	-50+100	150	-	-	-15050	0,30
20200	9	1	-50+50	100	+50+150	0,29	-1000	0,39
20200	10	2	-150+100	250	-	-	-15050	0,39
201000	11	1	-500	50	-	-	-10050	0,20
201000	12	2	-100+100	200	-	-	-15050	0,24
2001000	13	1	-500	50	1	-	-10050	0,19
2001000	14	2	-500	50	-	-	-10050	0,20



Выводы:

- 1) Выделены Зи интервала Noise Band, при которых наблюдается хорошо выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» от создаваемых напряжений:
- 5...30 κΓ_Ц,
- 5...200 κΓ**ι**ι,
- 20...200 κΓц.
- 2) Толщина образца сильно влияет на зависимость показаний «ИНТРОСКАН»: чем тоньше образец, тем зависимость показаний «ИНТРОСКАН» от напряжений более выражена.

При меньшей толщине образца (4 мм) лучше применять значение Noise Band 5...200 кГц и 20...200 кГц (предпочтительней) при большей (8 мм) - 5...30 кГц.

- 3) Обработка образца сильно влияет на зависимость показаний «ИНТРОСКАН»:
- поставка хорошо выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при сжимающих напряжениях;
- фрезерование хорошо выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при растягивающих напряжениях;
- отжиг слабо выраженная зависимость показаний «ИНТРОСКАН» при сжимающих напряжениях.

2.3 Серия экспериментов №2

В серии экспериментов №2 были проанализированы влияния на показания «ИНТРОСКАН»:

- 1) выбранных интервалов Noise Band;
- 2) подготовка поверхности образца.

Серия экспериментов была проведена с образцами №№ 1-6, предварительно зачищены шлифовальной машинкой, для ранее выбранных 2x интервалов Noise Band 5-30 20...30 к Γ ц и 20...200 к Γ ц (прил. Γ).

Результаты серии экспериментов №2 сведены в табл. 2.5 и табл. 2.6.

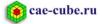


Табл. 2.5

			№ образца						
Noise Band, κΓιμ	№ эксперимента	№ стороны		1	,	3		5	
			диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность	
530	19	1	-150+50	0,41	-100+100	0,47	-50+50	0,58	
330	20	2	-100+100	0,44	-100+100	0,51	-50+100	0,39	
5200	21	1	-100+200	0,33	-50+200	0,42	-50+200	0,31	
3200	22	2	-50+200	0,37	-50+150	0,53	-50+100	0,26	
20200	17	1	-100+200	0,32	-50+200	0,42	-50+200	0,30	
	18	2	-50+200	0,36	-50+100	0,69	-500	0,47	

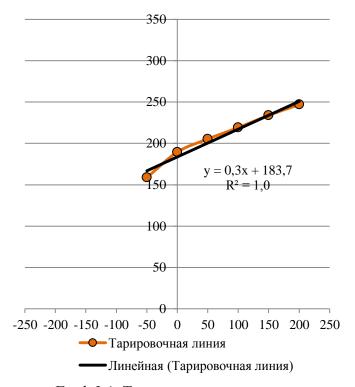
Таблица. 3.6

			№ образца						
Noise Band, κΓιμ	№ эксперимента	№ стороны		2 4		4		6	
			диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность	диапазон	интенсивность	
530	19	1	-50+100	0,36	-1500	0,33	-1000	0,31	
550	20	2	-150+100	0,28	-100+150	0,28	0+100	0,19	
5200	21	1	-100+200	0,24	-50200	0,25	-500	0,33	
3200	22	2	-50+50	0,34	-50+200	0,22	-	-	
20200	17	1	+50+200	0,24	-100+100	0,20	+50+100	0,30	
	18	2	-50+50	0,38	0+100	0,25	-	-	



Значения экспериментов №21 и 22 для образца с толщиной 4 мм в диапазоне - 50...+200 МПа были усреднены и построена тарировочная линия тренда (граф. 2.1).

Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН».



Граф.2.1. Тарировочная линия тренда

Выводы:

При шлифовании образцов различной поставки и толщины при параметре Noise Band 20...200 кГц возможно измерение растягивающих напряжений (-50...+200 МПа).



3 Выводы

Для измерения напряжений в стенке объекта контроля с помощью "ИНТРОСКАН", необходимо предварительно изготовить тарировочный образец из такого же материала и такой же толщины, как и стенка объекта контроля.

Необходимо обеспечить идентичность поверхности тарировочного образца и объекта контроля для чего необходимо одинаково зачистить.

С помощью изготовленного образца тарировочного произвести тарировку "ИНТРОСКАН": построить график зависимости показаний "ИНТРОСКАН" от напряжений.

При тарировке параметр Noise Band принять равным 20...200 к Γ ц остальные параметры принять рекомендованное значение параметра при поверке прибора (П) (табл. 3.1.).

Табл. 3.1. Рекомендуемые параметры "ИНТРОСКАН"

$N_{\underline{0}}$	Параметр настройки ИНТРОСКАН	Значение
01	Excitation Amplitude (Амплитуда возбуждения)	100
02	Excitation Frequency (Частота возбуждения), Гц	120 (Π)
03	Stabilization (Стабилизация)	Current (Π)
04	Field Freeze (Фиксация поля), мс	0 (Π)
05	Noise Band (Полоса шума), кГц	20200
06	Measuring Noise (Измерение шума)	Full (Π)
07	Amplification (Усиление)	1
08	Sensor Buttons (Кнопки датчика)	
09	Autostop (Автостоп)	Off
10	Measuring Time (Время измерения), мс	1000 ms (Π)
11	Demagnetizing (Размагничивание)	On
12	Initial Angle (Начальный угол), град	0
13	Final Angle (Конечный угол), град	180
14	Number of Nodes (Число узлов)	21
15	Reference Zero (Относительный ноль)	0 (Π)
16	Red Threshold (Уровень красного)	не важно
17	Precision (Точность)	0 (Π)

С помощью "ИНТРОСКАН" возможно измерение только растягивающих напряжений, поэтому перед проведением измерений на объекте необходимо определений области с растягивающими напряжениями. Определение растягивающих областей возможно с помощью проведения расчета методом конечных элементов.

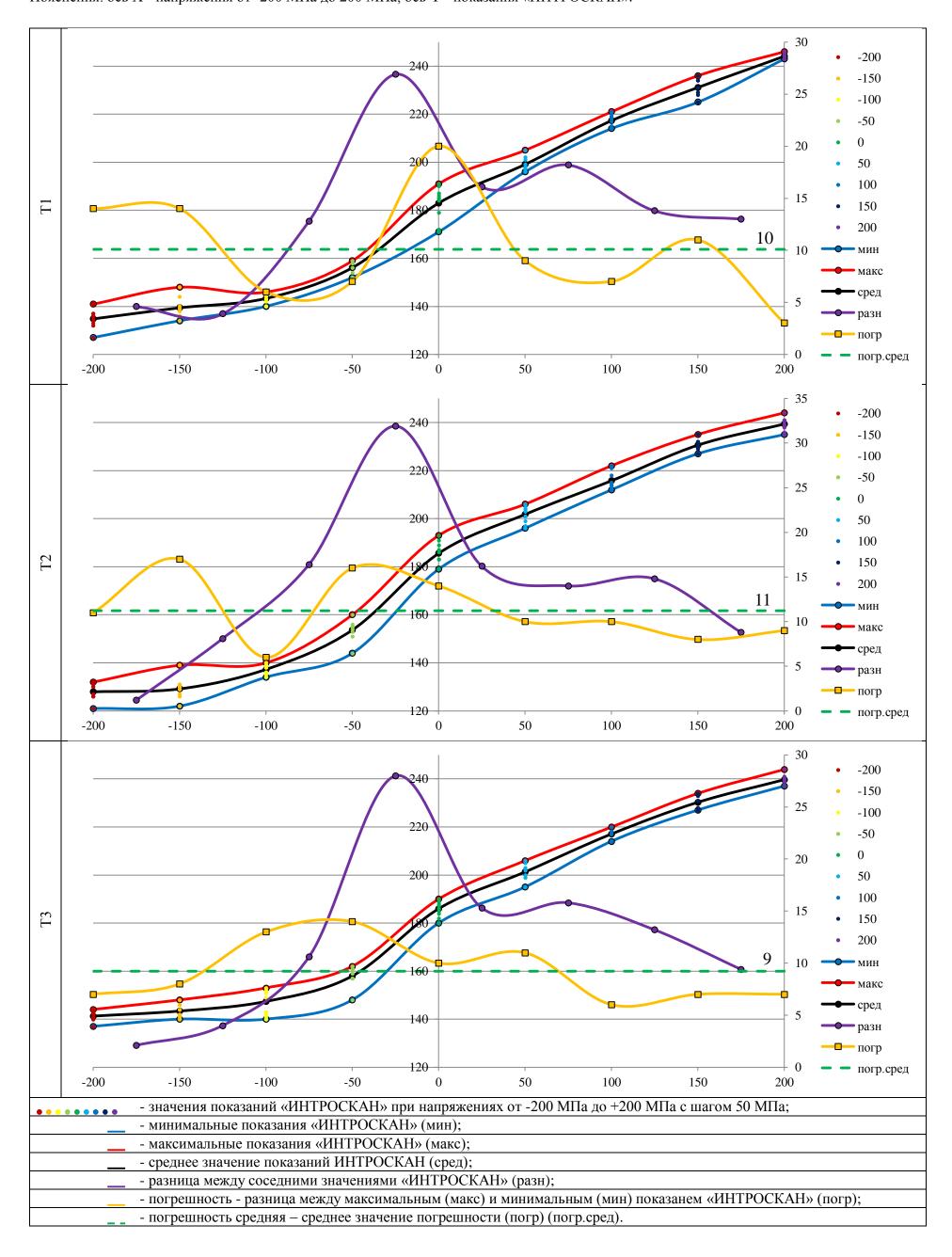
При тарировке и контроле снимать несколько (3-5) значений показаний "ИНТРОСКАН" в зоне измерения для последующего усреднения.

4 Продолжение

- 1. Провести исследование влияния 2х- осного НДС по показания "ИНТРОСКАН".
- 2. Провести испытания на стенде трубы по измерению продольных и кольцевых составляющих напряжений с помощью "ИНТРОСКАН".
- 3. Провести испытания по определению влияния шероховатости поверхности на показания "ИНТРОСКАН".
- 4. Тарировка «ИНТРОСКАН» без образца на объекте.



Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН».





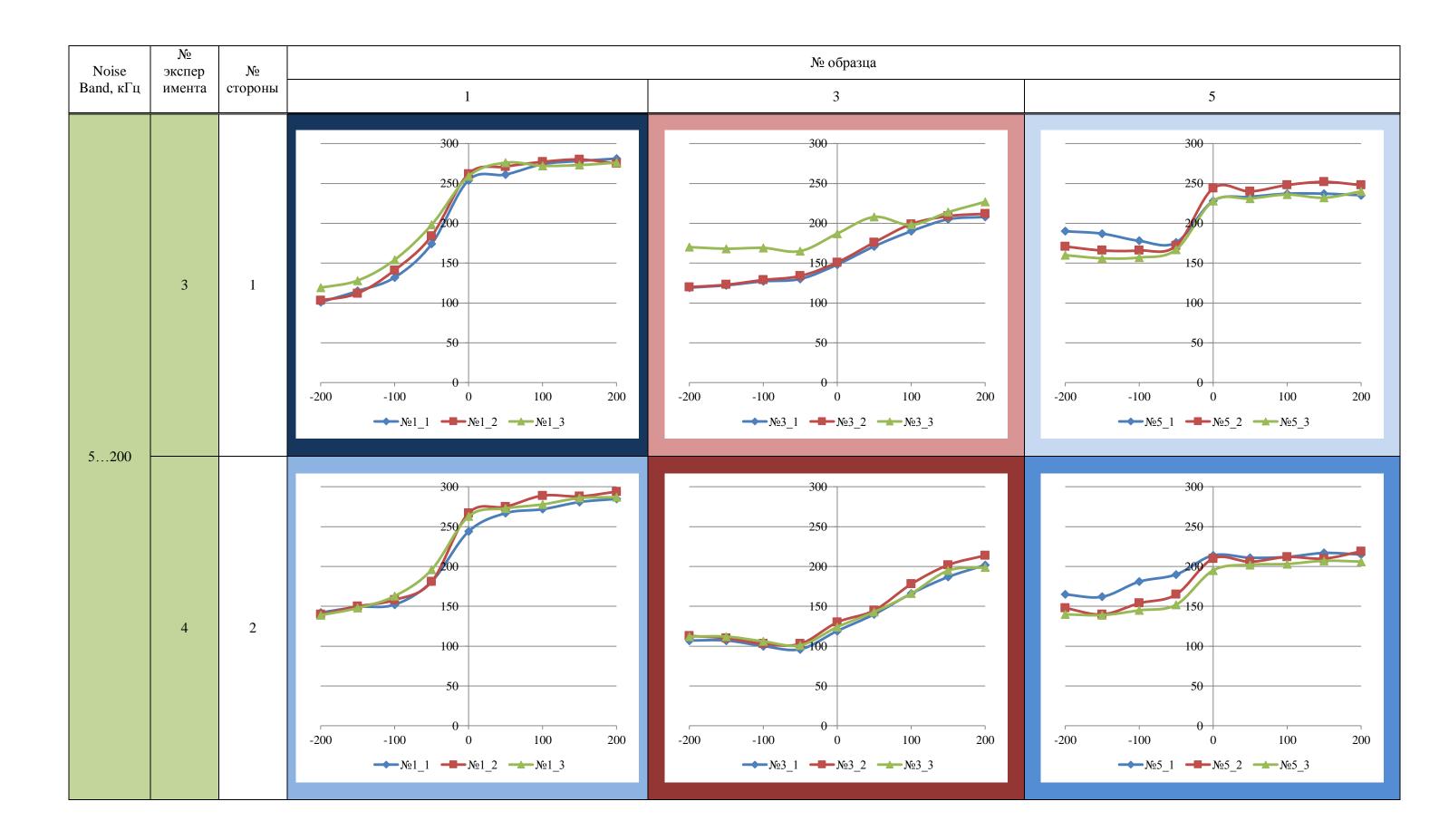
Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН»;

__ - показания «ИНТРОСКАН» в Т1; __ - показания «ИНТРОСКАН» в Т2; __ - показания «ИНТРОСКАН» в Т3.

Образцы с толщиной 4 мм.

Noise	№ экспер	No	№ образца					
		стороны	1	3	5			
	1	1	-	-	-			
530	2	2	300 250 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 Nº1_1 Nº1_2 Nº1_3	300 250 200; 187 150 95 -50; 98 -200 -100 0 100 200 №3_1 №3_2 №3_3	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$			



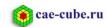


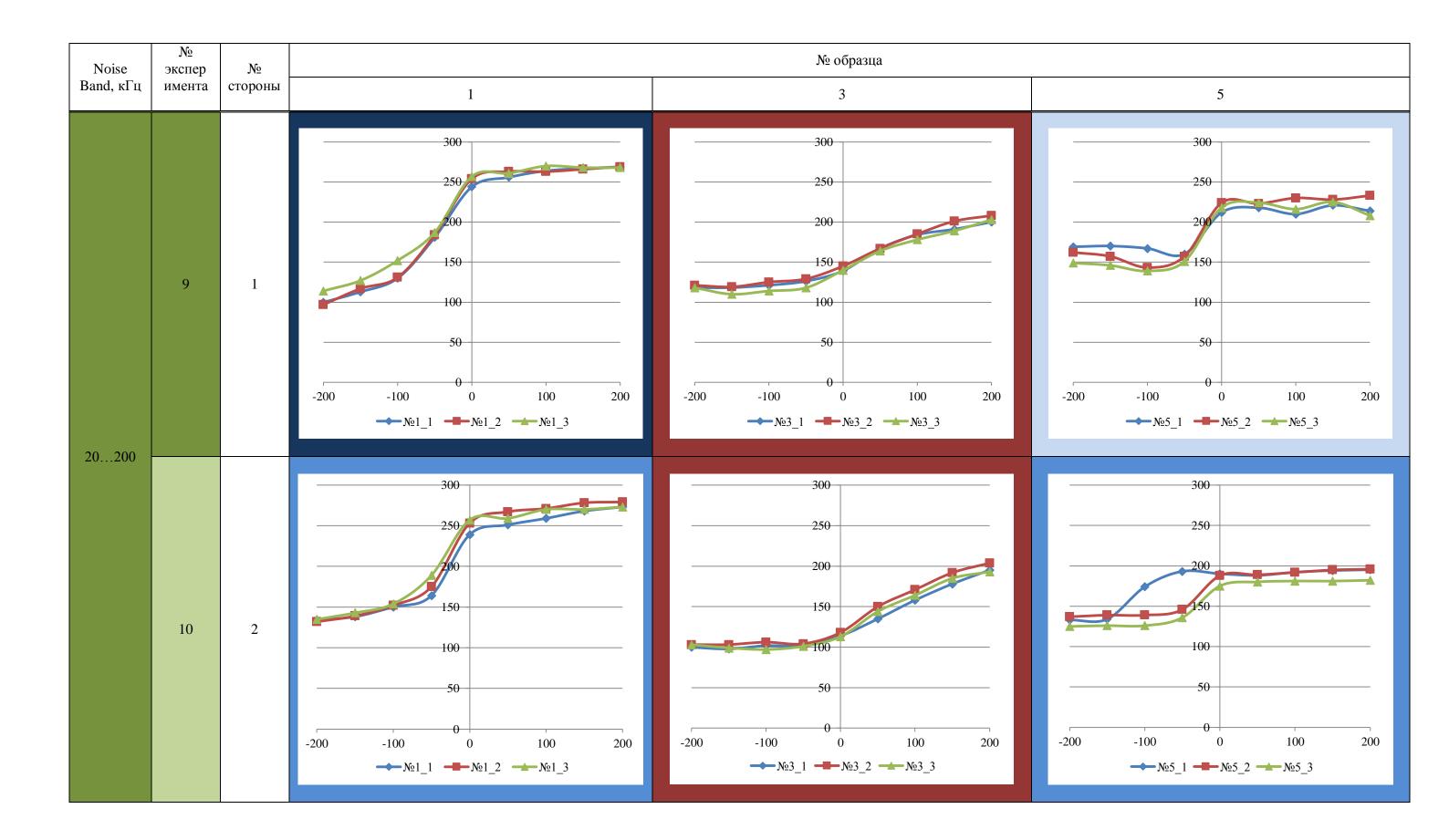


Noise	№ экспер	No		№ образца	
Band, кГц			1	3	5
	5	1	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 Ne1_1 Ne1_2 Ne1_3	300 250 200 150 100 50 100 100 200 100 200 100 100 200 100 1	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 Ne5_1 Ne5_2 Ne5_3
51000	6	2	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 Ne1_1 Ne1_2 Ne1_3	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 → №5_1 → №5_2 → №5_3



Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	1	3	5
	7	1	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 N≥3_1 N≥3_2 N≥3_3	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
2030	8	2	300 250 200 100 50 -200 -100 0 100 200 Nº1_1 Nº1_2 Nº1_3	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 N≥3_1 N≥3_2 N≥3_3	300 250 200 50 100 50 -200 -100 0 100 200 Ne5_1 Ne5_2 Ne5_3







Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, кГц		стороны	1	3	5
	11	1	250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 N№1_1 N№1_2 N№1_3	$ \begin{array}{c ccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	300 250 150 100 100 200 -200 -100 0 100 200 N≥5_1 N≥5_2 N≥5_3
201000	12	2	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	300 250 150 100 100 100 200 -200 -100 0 100 200 N≥3_1 N≥3_2 N≥3_3	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 → №5_1 → №5_2 → №5_3



Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	1	3	5
			300	300	300
			250	250	250
			200	200	200
	12	1	150	150	150
	13	1	100	100	100
			50	50	50
			-200 -100 0 100 200	-200 -100 0 100 200	-200 -100 0 100 200
			$N_{0}1_{1}$ $N_{0}1_{2}$ $N_{0}1_{3}$	→ No3_1 → No3_2 → No3_3	→ Nº5_1 → Nº5_2 → Nº5_3
2001000			300	300	300
			250	250	250
			200	200	200
			150	150	150
	14	2	100	100	100
			50	50	50
			-200 -100 0 100 200	-200 -100 0 100 200	-200 -100 0 100 200
			$N_{0}1_{1}$ $N_{0}1_{2}$ $N_{0}1_{3}$	<u>№3_1</u> <u>№3_2</u> <u>№3_3</u>	→ No5_1 → No5_2 → No5_3



Образцы с толщиной 8 мм.

Noise	№	№		№ образца	
Band, кГц	Вапа, кГц экспер имента		2	4	6
	1	1	-	_	_
530	2	2	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №2_1 → №2_2 → №2_3	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$



21

Noise	No	No		№ образца	
Band, κΓιι	экспер имента	стороны	2	4	6
5 200	3	1	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 Ne2_1 Ne2_2 Ne2_3	300 250 200 100 50 -200 -100 0 100 200 -N≥4_1 N≥4_2 N≥4_3	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 -200 N≥6_1 N≥6_2 N≥6_3
5200	4	2	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 N≥2_1 N≥2_2 N≥2_3	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №4_1 → №4_2 → №4_3	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №6_1 №6_2 №6_3



Noise	№ экспер	No		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	2	4	6
	5	1	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	250 200 150 150 -200 -100 0 100 200 → №4_1 → №4_2 → №4_3	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №6_1 №6_2 №6_3
51000	6	2	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 → №4_1 → №4_2 → №4_3	300 250 200 150 50 -200 -100 0 100 200 → №6_1 → №6_2 → №6_3



Noise	№ экспер имента	№	№ образца	
Band, кГц		стороны	2 4	6
	7	1	300 250 200 200 200 200 200 200 2	300 250 200 100 100 200 -200 -100 0 100 200 -200 -100 0 100 200 -200
2030	8	2	300 250 200 200 200 100 50 50 50 50 50 50 50 50 50	300 250 200 100 100 100 200 -200 -100 0 100 200 -200 -100 N≥6_1 N≥6_2 N≥6_3



Noise	No	№		№ образца	
Band, κΓц	экспер имента	стороны	2	4	6
	9	1	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №2_1 → №2_2 → №2_3	300 250 200 100 50 -200 -100 0 100 200 N≥4_1 N≥4_2 N≥4_3	350 300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 Ne6_1 Ne6_2 Ne6_3
20200	10	2	300 250 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №2_1 → №2_2 → №2_3	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 → №4_1 №4_2 №4_3	300 250 200 150 100 50 -200 -100 0 100 200 N26_1 N26_2 N26_3



Noise	№ экспер	No		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	2	4	6
			250	250	250
	11	1	150	150	150 100 50
201000	12	2	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$	-200 -100 0 100 200 → №6_1 → №6_2 → №6_3 300 250 200 150 200 100 200 → №6_1 → №6_2 → №6_3



Noise	№ экспер	No		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	2	4	6
			250	250	250 200
200 1000	13	1	-200 -100 0 100 200 No2_1 No2_2 No2_3	-200 -100 0 100 200 N₂4_1 N₂4_2 N₂4_3	-200 -100 0 100 200 → №6_1 → №6_2 → №6_3
2001000	14	2	300 250 200 150 -200 -100 0 100 200 -200 -100 0 100 200 -200 -200 -200 -200 -200	300 250 150 100 100 -200 -100 0 100 200 N24_1 N24_2 N24_3	300 250 200 150 100 100 100 200 -200 -100 0 100 200 N≥6_1 N≥6_2 N≥6_3



Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН»;

__ - среднее значение показаний «ИНТРОСКАН» в точках Т1, Т2, Т3; __ - разница между соседними значениями «ИНТРОСКАН» (разн); __ - порог чувствительности «ИНТРОСКАН».

Образцы с толщиной 4 мм.

Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, кГц	имента		1	3	5
	1	1		-	
530	2	2	350 120 100 100 250 100 150 200 250 100 150 200 250 120 120 120 100 150 200 250 120 120 120 120 120 120 120 120 120 12	350 120 100 100 250 250 100 150 200 250 100 150 200 250 100 150 200 250 100 150 200 250	350 0; 300 100 100 80 -50; 240 20 50 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 -20 -250 -200 -50



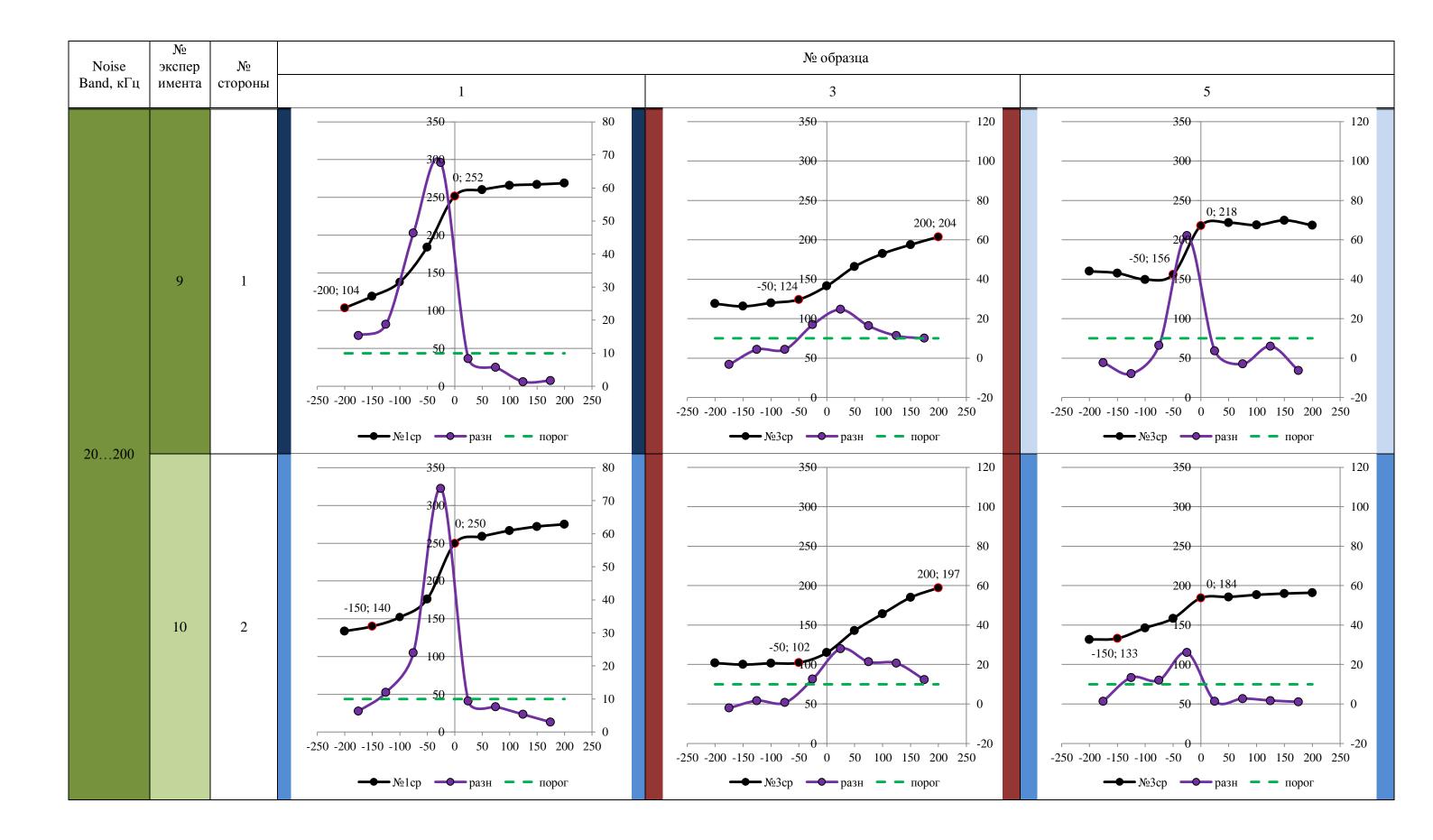
Noise	№ экспер	No		№ образца	
Band, κΓιι	имента	стороны	1	5	
Noise	№ экспер	<u>No</u>		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны – образца	1	3	5
5 200	3	1	350 300 50; 269 -60 -50 -200; 108 -200; 108 -200; 108 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	350 120 100 100 250 80 150; 209 60 40 40 20 250 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 №3ср разн порог	350 300 100 250 0; 233 80 60 150 40 20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 №3cp pазн порог
5200	4	2	350 300 50; 272 -60 -100; 158 -40 -30 -20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 -250 -200 -150 -100 -50 0 paзh порог	350 300 100 250 80 200; 205 60 40 -50; 100 20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 №3ср разн порог	350 120 100 100 250 0; 206 60 40 40 40 40 100 20 100 150 200 250 100 100 150 200 250 100 100 150 200 250 100 150 200 250 100 100 150 200 250 100 100 150 200 250 100 100 150 200 250 100 100 100 100 100 100 100 100 100 1

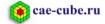
Noise	№ экспер	No		№ образца			
Band, кГц	имента	стороны	1	3		5	
			350 60	350	120	350	120
			50	300	100	300	100
			40	250	80	250	80
			50; 169	200	60	200	60
	5	1	150	150 150; 118	40	-50; 89	40
			100 -100; 87 50 0	-50; 72 100	20	30, 05	20
			-10	50	0	50	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 1:		-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	
51000			——№1ср —— разн — порог	—— №3ср —— разн — —		№3ср разн	
			350 60	350	120	350	120
			- 50	300	100	300	100
			- 40	250	80	250	80
			0; 160	200	60	200	60
	6	2	-100; 95	150		-50; 90 100 -50; 90 100	40
			50 - 10	-50; 6 <u>0</u>	20	-50, 90	20
				50	0	50	-20
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 1:	50 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	
			—— №1ср —— разн — порог	№ 3ср р азн —	порог	№3ср разн	— порог



Noise	№ экспер	№		№ образца			
Band, кГц	имента	стороны	1	3		5	
			350 70	350	120	350	120
				300	100	300	100
				250	80	250	80
			200 0; 177 40	200	60	200 0; 190	60
	7	1	159	150 50; 119	40	-50; 138	40
			——————————————————————————————————————	-50; 87	20	100	20
			50	50	0	50	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	0	-20		-20
			—— №1ср —— разн — порог	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 15 — №3ср — разн — п		-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 —— №3ср —— разн —	
2030			350 60	350	120	350 Jasin	120
			8				
			300 50	300	100	300	100
			250 40	250	80	250	80
			200 50; 186 30	200	60	200 0; 178	60
	8	2	-100; 102	150 150; 1	40	150	40
			100	50.66 100	20	100	20
			50	-50; 66 100 -50	0	50	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	0	-20		-20
			— №1ср — разн — порог	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 15 ————————————————————————————————————		-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 — №3ср — разн —	







Noise	<u>№</u> экспер	№ стороны	№ образца				
Band, кГц	имента		1	3		5	
	11	1	350	350	120	350	120
			300 250 25	250	80	250	100
			200 20	200	60	200	60
			150	150	40	150	40
			-100; 59 100 0; 102 10 50 5	100	20	100	20
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 5	-20	-50; 45 0; 55 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 10	-20
			— №1ср — разн — порог	-230 -200 -130 -100 -30 0 3 		—— №3ср —— разн —	
201000	12	2	350 50 45	350	120	350	120
			300 - 40	300	100	300	100
			250 - 35	250	80	250	80
			0; 156	200	60	200	60
			-100; 91 100 -15	150	150; 109	0; 103	40
			50	50 0; 69	9 0	-50; 82 160 50	20
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 5	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 10	-20
			— №1ср — разн — порог	—— №3cp —— pas	зн — порог	№ 3ср разн	порог



Noise	№ экспер имента	№ стороны	№ образца				
Band, кГц			1	3		5	
			350 35	350	120	350	120
	13	1	- 30	300	100	300	100
			250	250	80	250	80
			200	200	60	200	60
			$-\frac{150}{0;103}$ $-\frac{1}{0}$ 10	150	40	150	40
			-100; 53	100	20	00 0; 76	20
			50	10	00; 64		0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 10	-20	-50; 46 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20
200 1000			—— №1ср —— разн — порог				
2001000	14	2	350 35	350	120	350	120
			300 30	300	100	300	100
			250 25	250	80	250	80
			200 20	200	60	200	60
			0; 102	150	40	150	40
			100	100	20	100	20
			-100; 59 50	50; 45	100; 57	50 0; 55	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250		-20	-50; 45 0 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20
			— №1ср — разн — порог	— №3ср — разн		№ 3ср р азн –	



Образцы с толщиной 8 мм.

Noise	№ экспер имента	№ стороны	№ образца			
Band, кГц			2	4	6	
	1	1	-	_	_	
530	2	2	350 300 150; 278 -200; 172 150 -200; 172 150 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 -250 -200 -150 -100 -50 0 разн порог	350 300 100 250 200; 230 60 40 200; 230 40 200 20 200 200 200 200 200 200 100 150 200 250 №3cp разн порог	350 50; 303 100 80 80 60 -200; 207 40 40 20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 — №3ср — разн — порог	



Noise	№ экспер имента	№ стороны	№ образца				
Band, кГц			2 4		6		
			350 120	350	350 120		
			300	300	00 300 100		
			0; 247	250 80	250 80		
			200 60	200 50; 195	150; 232		
	3	1	-100; 189	-50; 157 150 40	150 150 40		
			100	20			
			50	50	50		
			-20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	0 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250		
			————————————————————————————————————	—— №3ср —— разн — — порог	————————————————————————————————————		
5200			350 120	350	350 120		
			50; 269	300	300 100		
			250	250 80	250 80		
	4	2	200	200			
			-150; 183	150	-150; 153 150 40		
			- 40	100	100		
			50	0	50		
				-2			
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————		



Noise	№ экспер	No		№ образца			6 350 300 100 250 80 200 60 40 200 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 №3ср разн порог 350 120 100 100 80 100 100 100 100	
Band, кГц	имента	стороны	2	4		6		
			350 120	350	120	350	120	
			- 100	300	100	300	100	
			250	250	80	250	80	
			200	200	60	200	60	
	5	1	-50; 116 50; 152 60	150	40	I	40	
			100	100	20	-150: 82	20	
			50	50	0		0	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100		
51000								
			350 120	350	120	350	120	
			- 100	300	100	300	100	
			250	250	80	250	80	
			200	200	60	200	60	
	6	2	0; 159	150	40	150 0; 112	40	
			-150; 108		20	-150; 80	20	
			50		0	50	0	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20 150 200 250	
			-230 -200 -130 -100 -30 0 30 100 130 200 230 — №2ср — разн — порог	-230 -200 -130 -100 -30 0 30 100 — №3ср — разн — —		-230 -200 -130 -100 -30 0 30 100 — №3ср — разн — —		



Noise	№ экспер	No		№ образца			350 300 250 250 200 60 40 -150; 128 160 50 0		
Band, кГц	имента	стороны	2	4		6			
			350 120	350	120	350	120		
			300 100	300	100	300	100		
			250 80	250	80	250	80		
			200 60	200	60	200	60		
	7	1	50; 182	-50; 120 150 100; 150	40	0; 177	40		
			-50; 137	100	20	-150; 128	20		
			50	50	0	50	0		
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	-20		
			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн — порог		— №3ср — разн — порог			
2030			350 120	350	120	350	120		
			300 100	300	100	300	100		
			250 80	250	80	250	80		
			200	200	60	-50; 166	60		
	8	2	-50; 129 150 40	150	40	150	40		
			20	100	20	-150; 136	20		
			50	50	0	50	0		
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	-20 250		
						— №3ср — разн — порог			



Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, кГц	имента	стороны	2	4	6
			350	350	20 350 120
			- 100	300	00 300 100
			250	250	250 80
			50; 244	50: 168 150: 198	
	9	1	-50; 192 150	50; 168 150; 198	0; 194
			- 40	100	20
				50	50
			0	-2	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ——— №3ср ——— разн — — порог
20200			350 120	350	20 350 120
			100; 264	300	300 100
			250	250	250 80
			150: 175	200	-50; 177
	10	2	150	150	
			100	100	-150; 138
			50	0	50
				-2	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———№3ср ————————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————



Noise	<u>№</u> экспер	№		№ образца			6 350 300 100 250 80 200 60 150 100 250 0 100 250 0 100 150 100 150 100 150 100 150 100	
Band, кГц	имента	стороны	2	4		6		
			350 120	350	120	350	120	
			- 100	300	100	300	100	
			250	250	80	250	80	
			200	200	60	200	60	
	11	1	150	150	40	150	40	
			100	100	20	100	20	
			-50; 81 0; 94		0	50:56	0	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20			
20 1000			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн — о				
201000			350	350	120	350	120	
			- 100	300	100	300	100	
			250	250	80	250	80	
			200 100; 168	200	60	200	60	
	12	2	- 60 -100; 113	150	40	150	40	
			100, 113	•••••	20	-50; 99 -150; 74	20	
			- 20	50	0	50	0	
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20 150 200 250	
			—— №2ср —— разн — — порог	— №3ср — разн — о	— порог	—— №3ср —— разн ——		



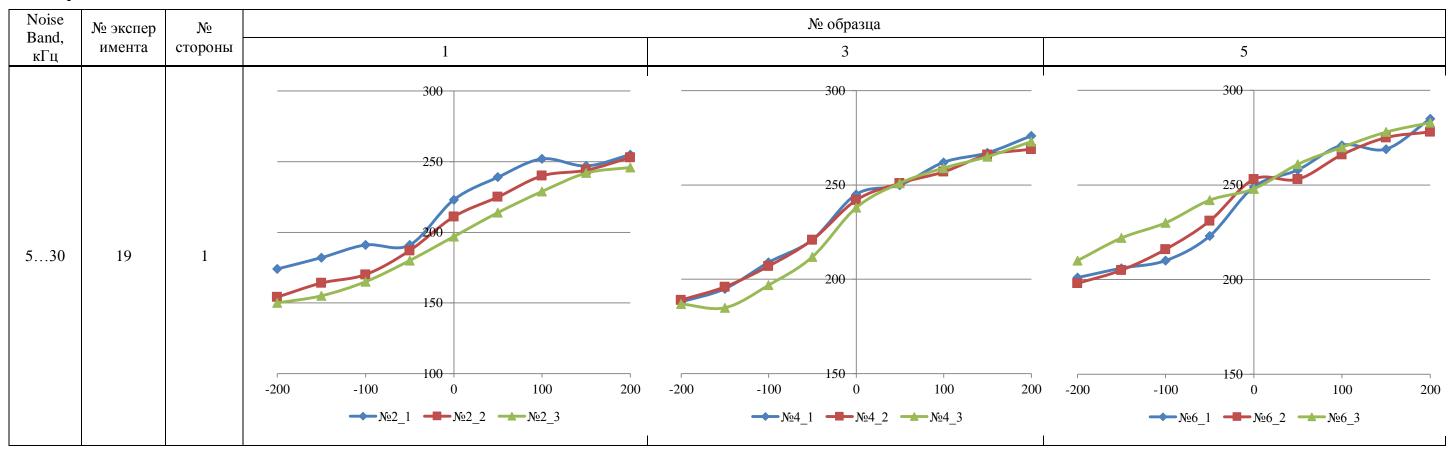
Noise	№ экспер	№		№ образца			
Band, кГц	имента	стороны	2	4		6	
			350 120	350	120	350	120
			- 100	300	100	300	100
				250	80	250	80
			200	200	60	200	60
	13	1	150	150	40	150	40
			-50; 74	100	20	100	20
			0; 88	-50; 49 50; 54	0	-100; 49 ⁻⁵⁰ ; 59	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 1	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20
2001000			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн —	— порог	— №3ср — разн —	— порог
2001000			350 120	350	120	350	120
			- 100	300	100	300	100
			250 - 80	250	80	250	80
			200	200	60	200	60
	14	2	150	150	40	150	40
			0; 94	100	20	100	20
			-50; 81 -50		0	-50; 56 -100; 46	0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 1	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100	-20 150 200 250
			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн —		— №3ср — разн —	



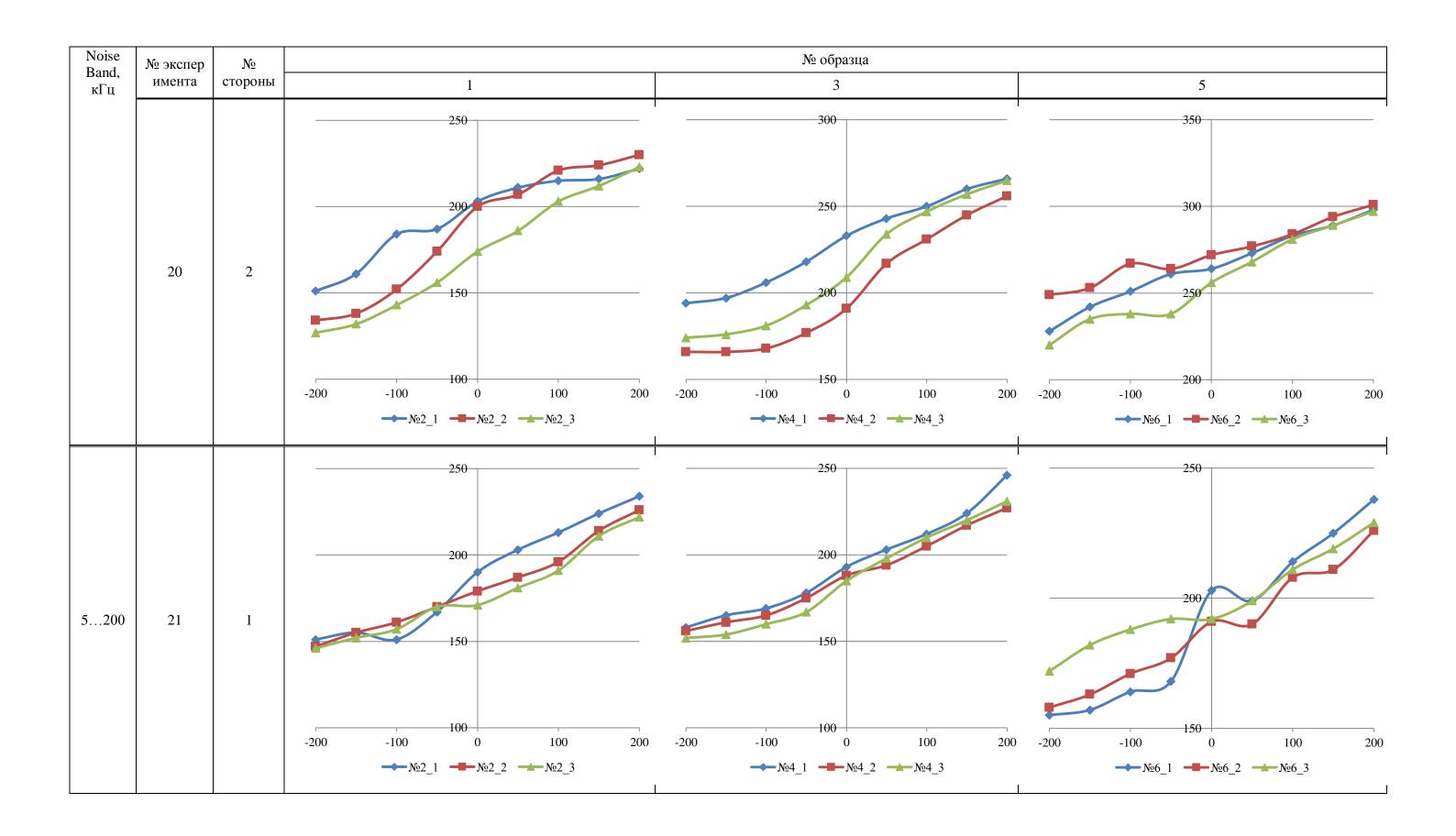
Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН»;

___ - показания «ИНТРОСКАН» в Т1; ___ - показания «ИНТРОСКАН» в Т2; ___ - показания «ИНТРОСКАН» в Т3.

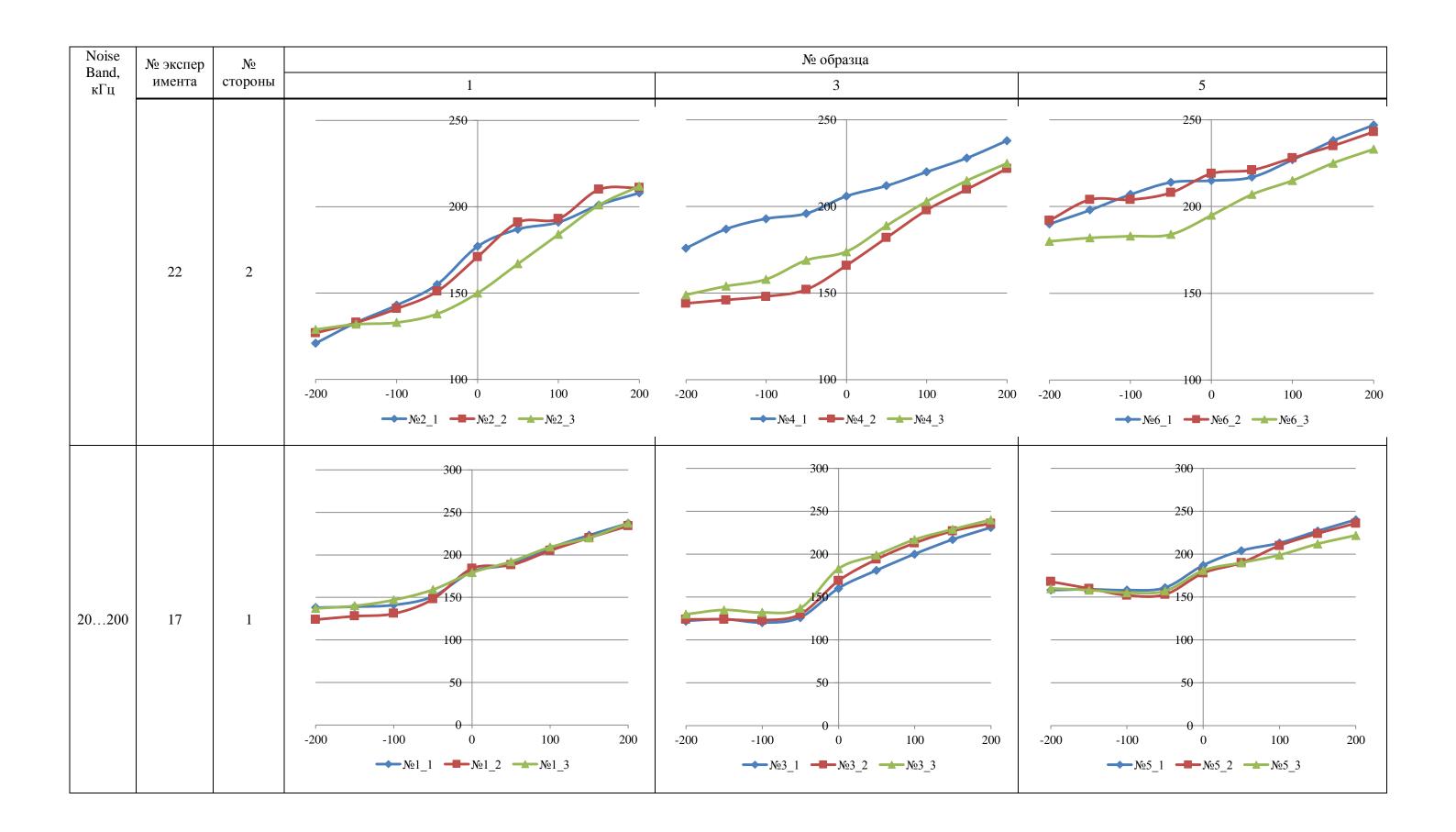
Образцы с толщиной 4 мм.

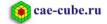


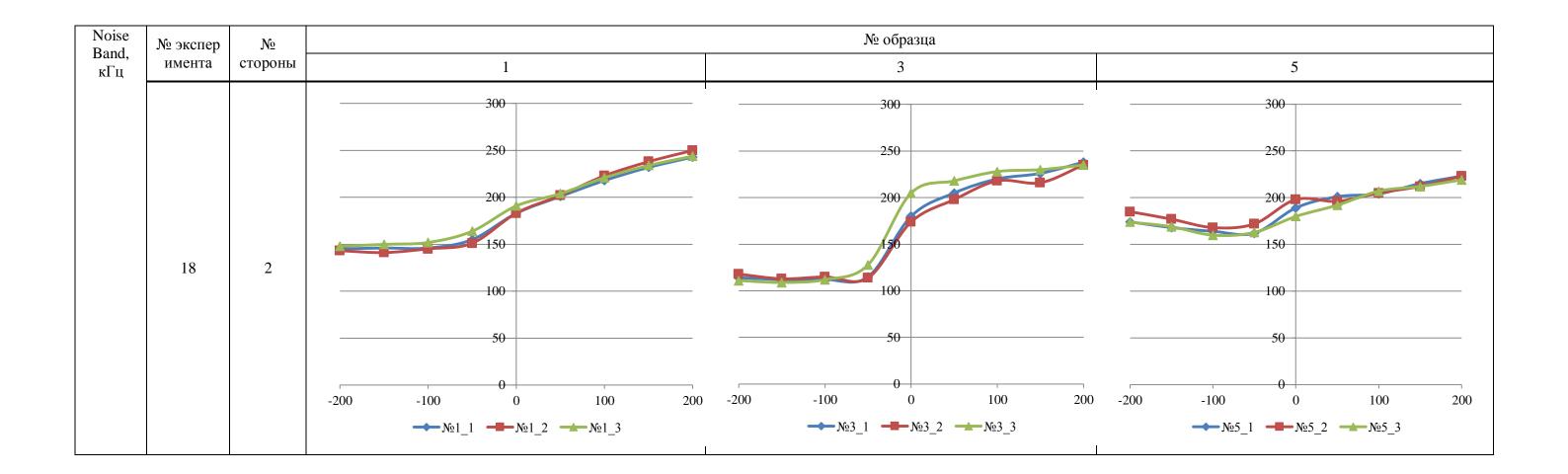






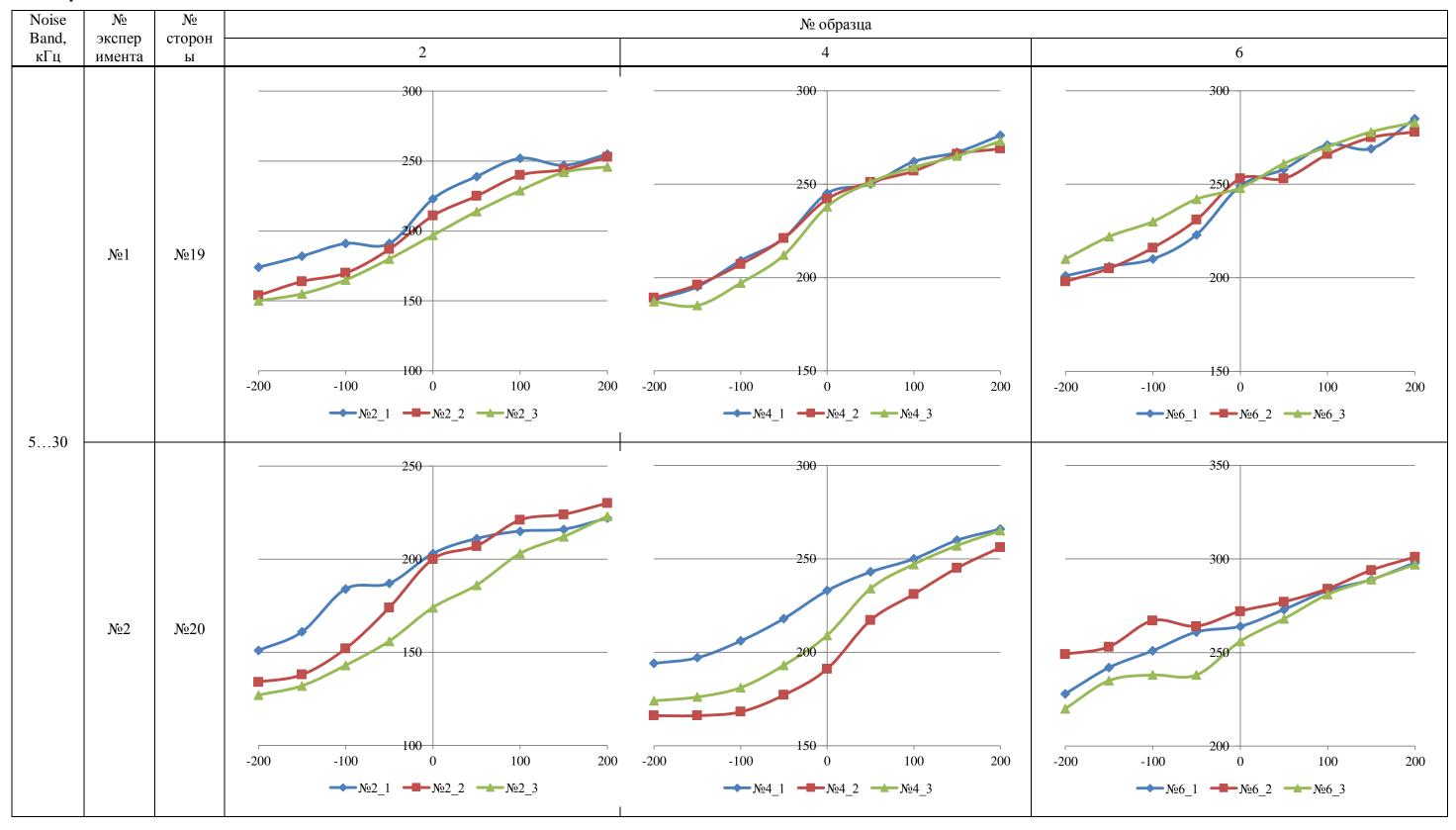






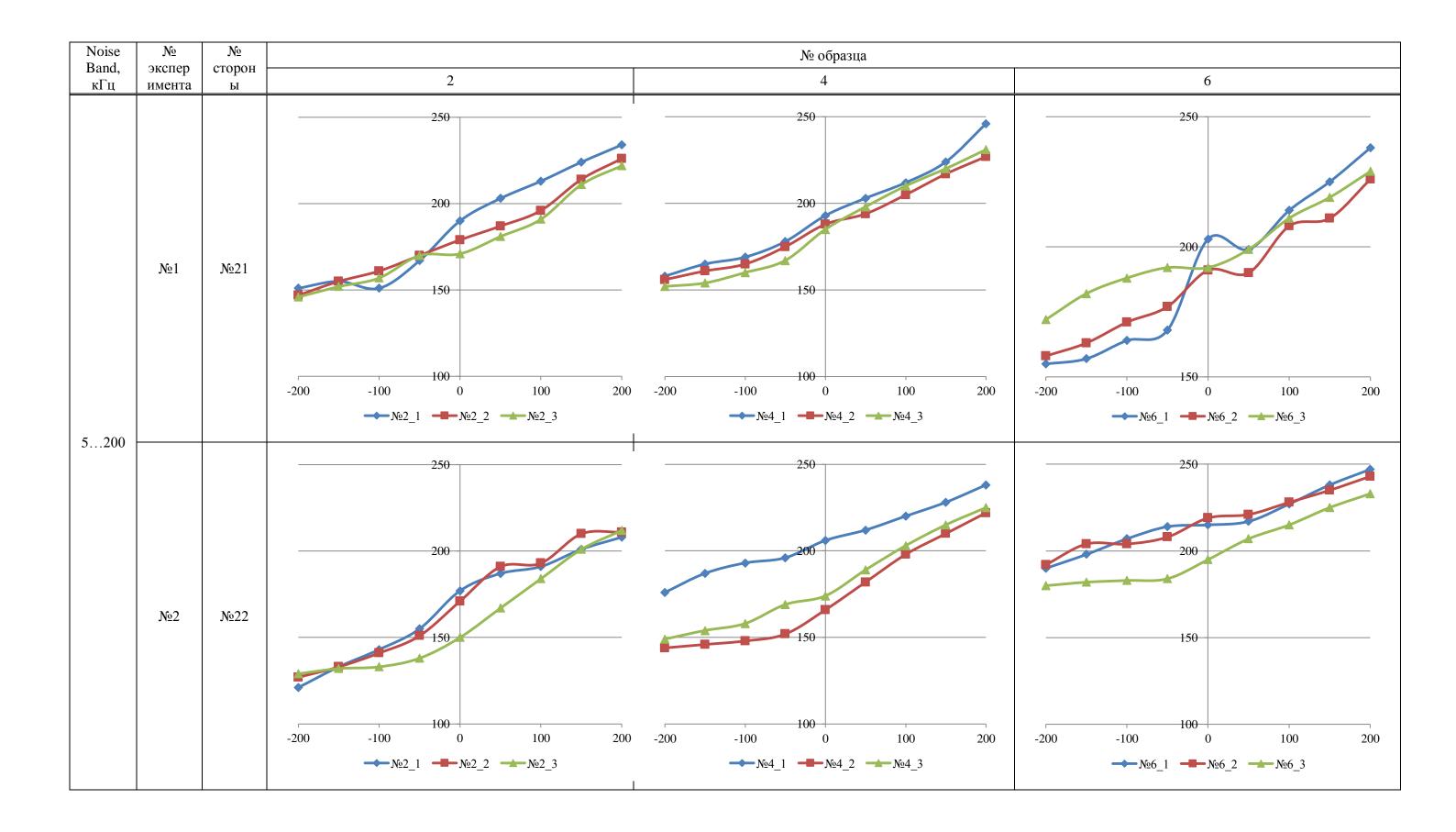


Образцы с толщиной 8 мм.





46





Noise	№	$\mathcal{N}_{\underline{0}}$	№ образца
Band, кГц	экспер имента	сторон ы	2 4 6
	17	1	300 250 200 150 100 100 100 100 100 100 1
20200	18	2	300 250 250 250 250 250 250 250 150 100 100 100 100 100 100 1

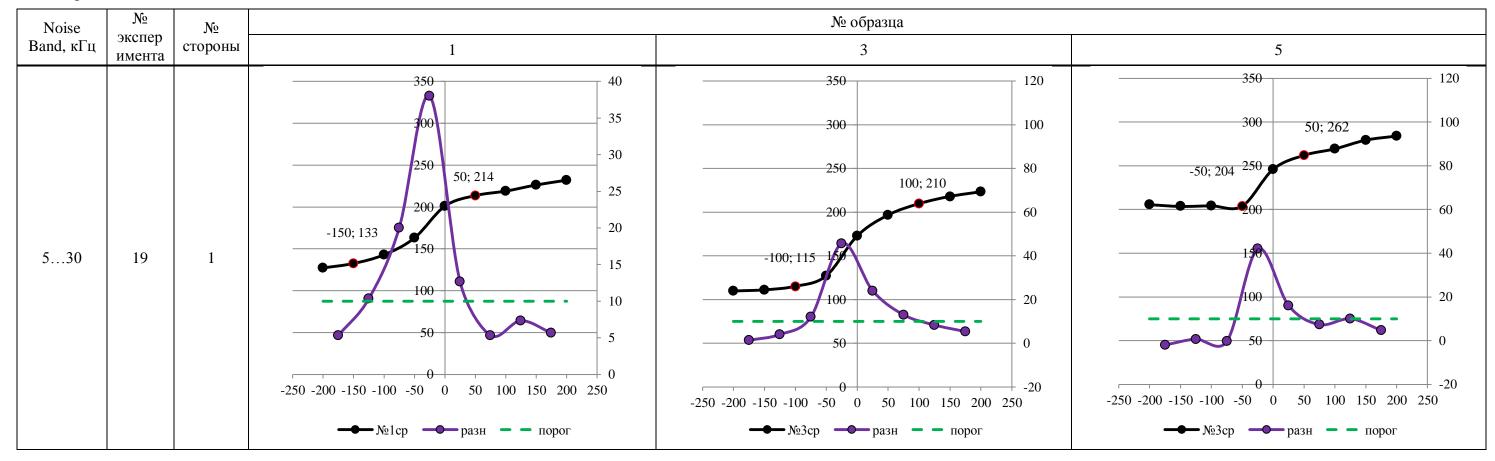


Приложение Д. Обработка результатов серии экспериментов №2

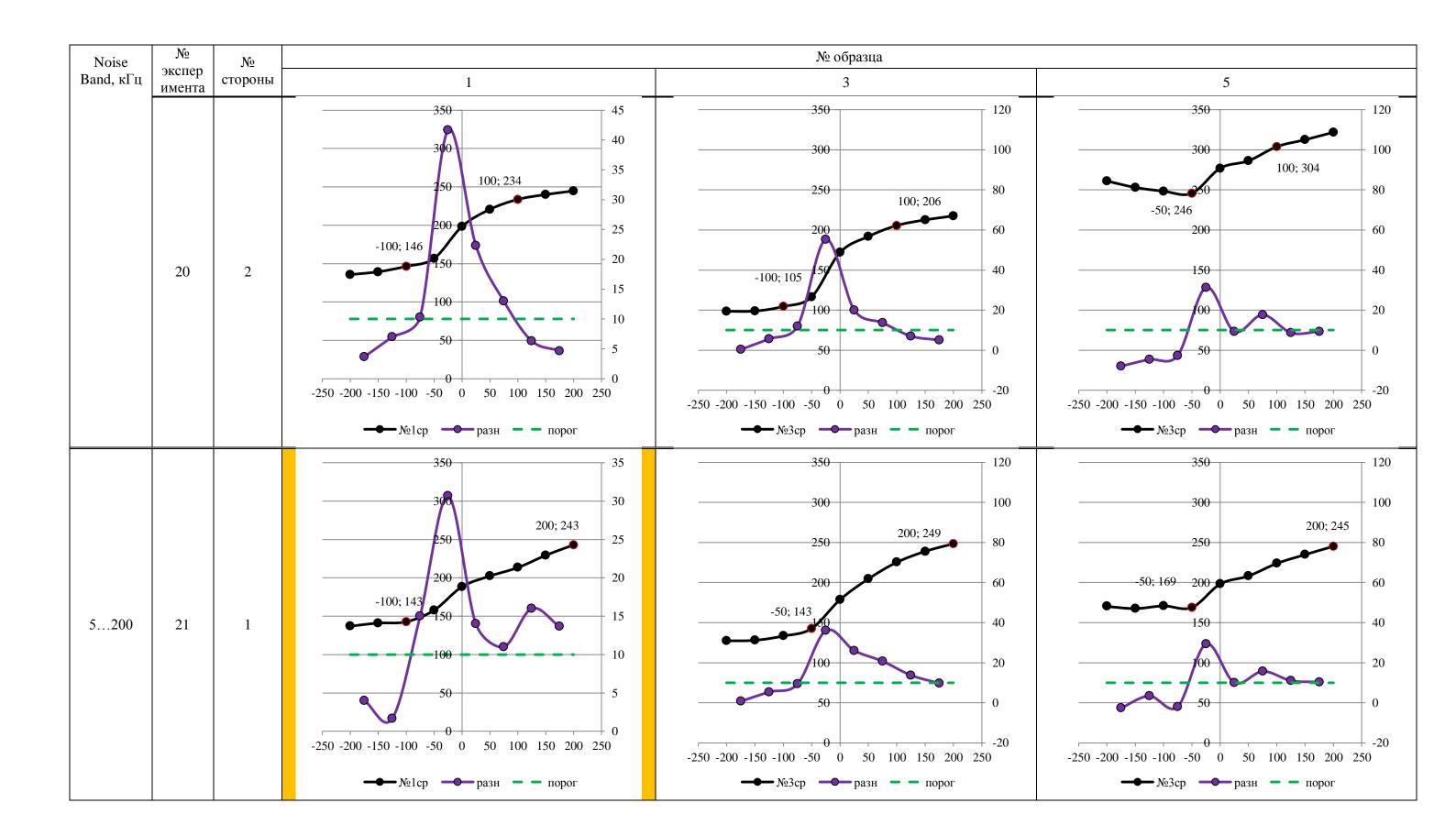
Пояснения: ось X - напряжения от -200 МПа до 200 МПа; ось Y - показания «ИНТРОСКАН»;

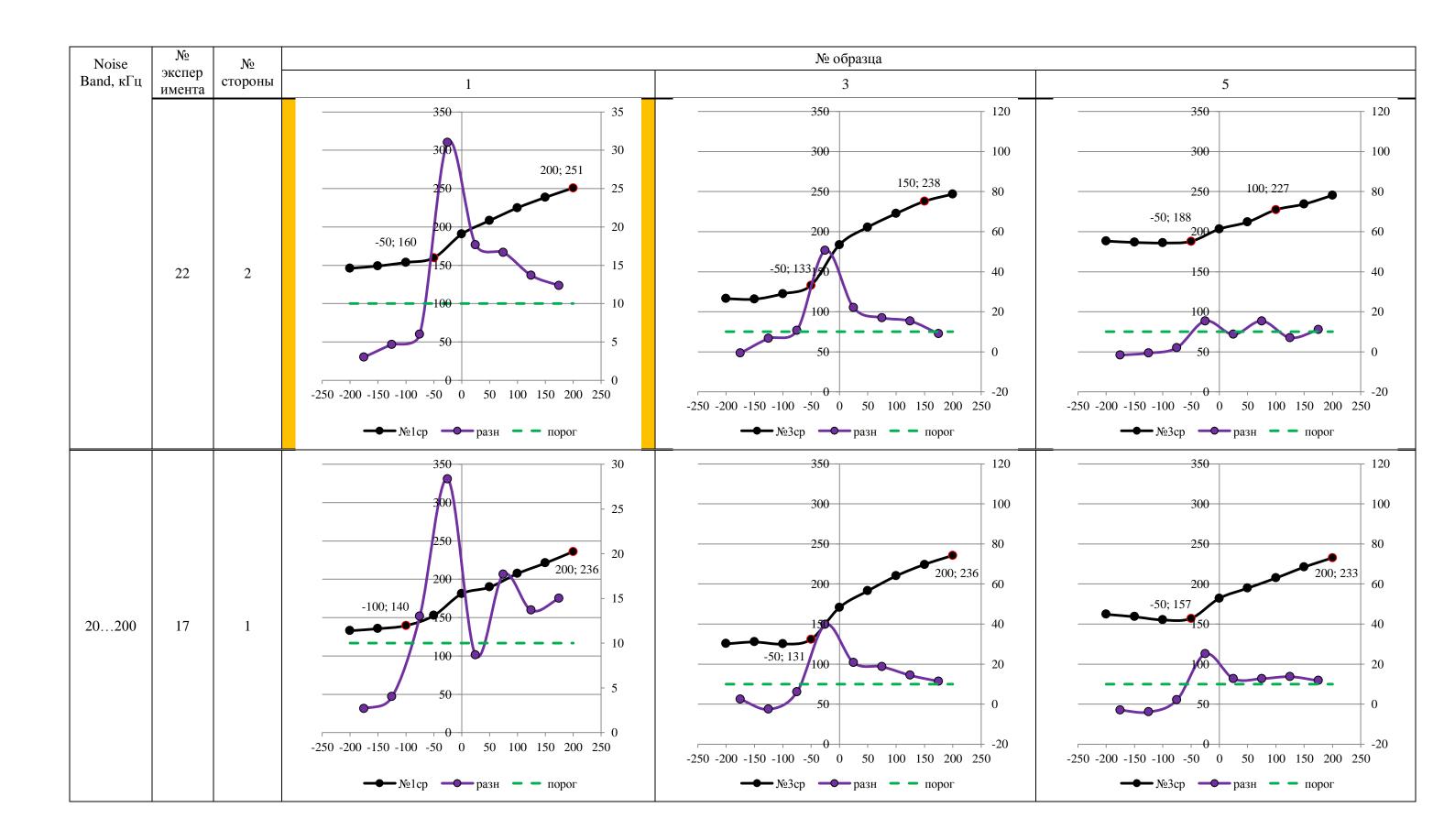
___ - среднее значение показаний «ИНТРОСКАН» в точках Т1, Т2, Т3; ___ - разница между соседними значениями «ИНТРОСКАН» (разн); ___ - порог чувствительности «ИНТРОСКАН».

Образцы с толщиной 4 мм.

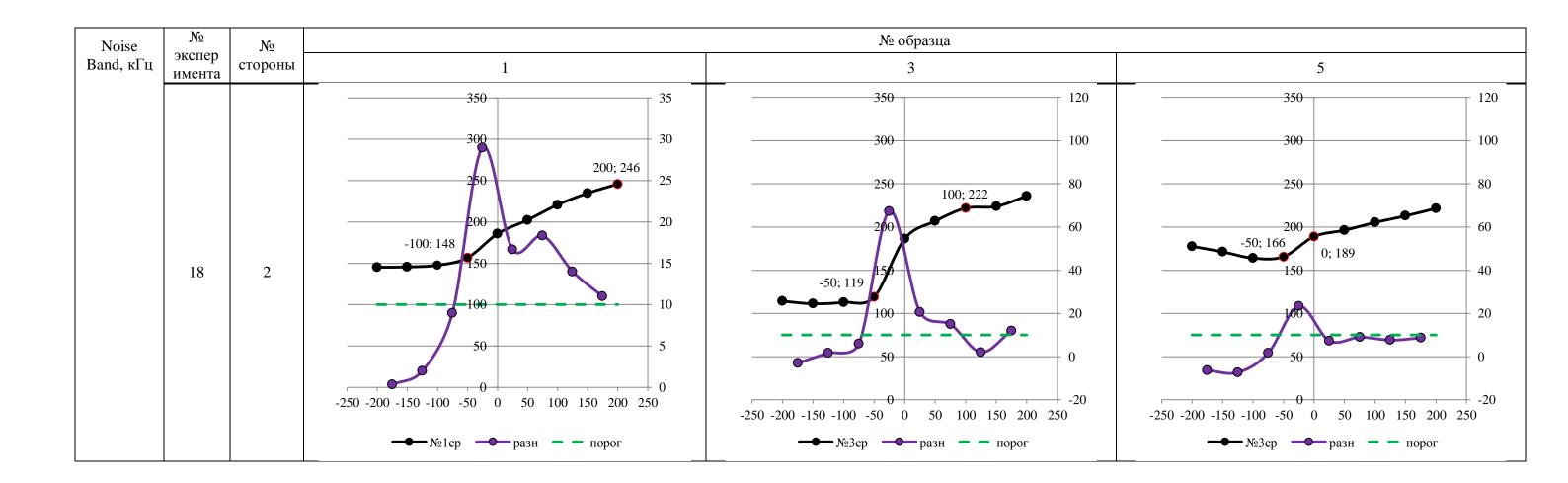






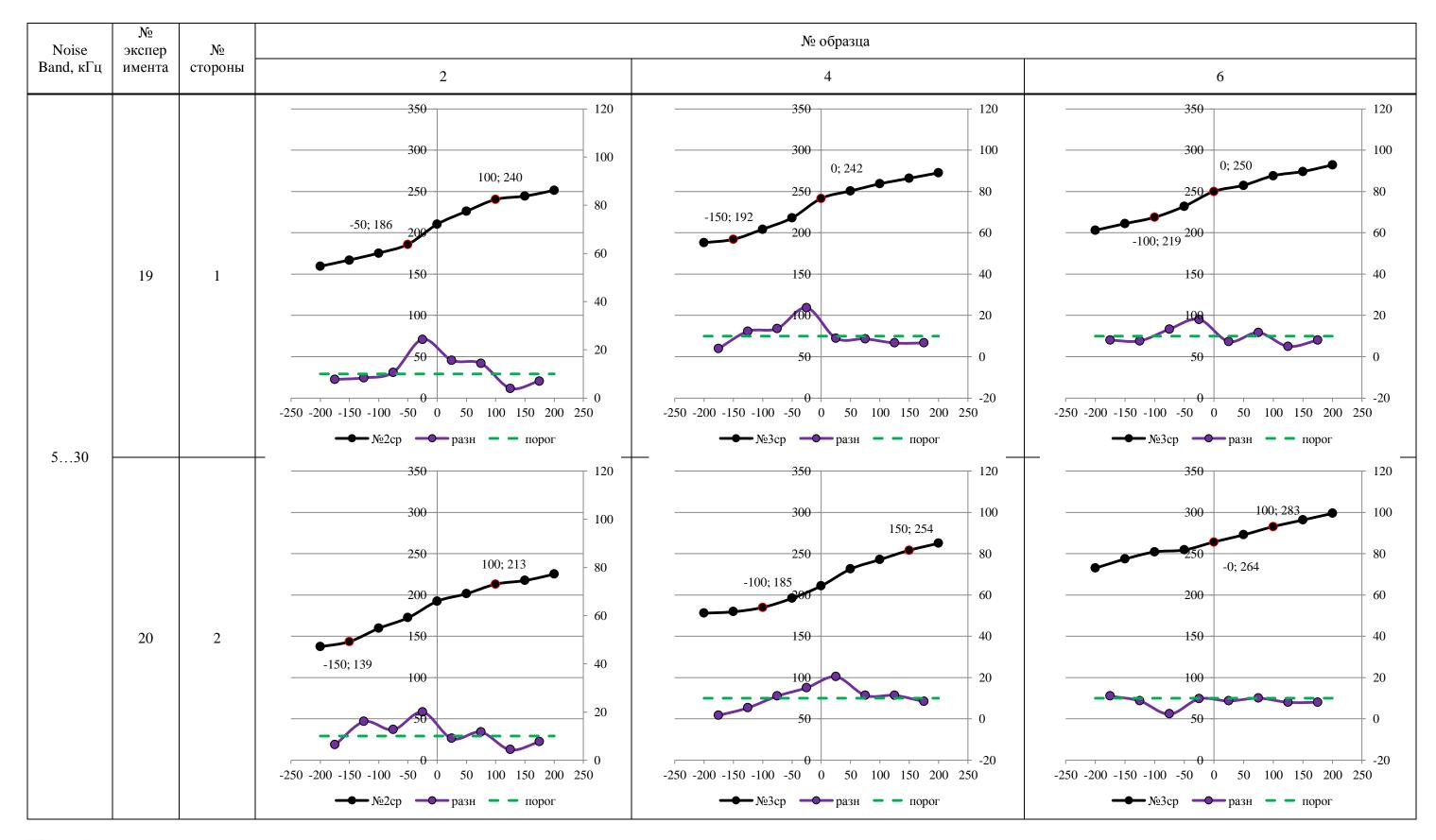








Образцы с толщиной 8 мм.





Noise	№ экспер	№		№ образца	
Band, κΓιι	_	стороны	2	4	6
			350 120	350	120 350 120
			- 100	300	100 100
			250 200; 227 80	250 200; 235	
			200	-50; 173 200	-50; 179 ₂₀₀ 0; 195 60
	21	1	-100; 156	150	40 150 40
			100	100	20 20
			50	50	0 50
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250
5200			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн — порог	— №3ср — разн — порог
3200			350	350	120 350 120
			- 100	300	100 100
			250 - 80	250 200; 228	80 250 80
			-50; 148 50; 182 - 60	-50; 172 200	60
	22	2		150	40 150 40
			100	100	20 20
			- 20	50	0 50 0
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250
			— №2ср — разн — порог	— №3ср — разн — порог	№3ср разн порог



Noise	№ экспер	№		№ образца			
Band, кГц	-	стороны	2	4		6	
			350	350	120	350	120
			300 100	300	100	300	100
			250 200; 219 80	250	80	250	80
			200 60	200 100; 198	60	200	60
	17	1	50; 184	-100; 159 150	40	50; 183	40
			20	100	20	100	20
			50	50	0	50	0
			-20	0	-20	0	-20
			-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250 ———————————————————————————————————	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 2 —— №3ср —— разн — порс		-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 —— №3ср —— разн — порог	250
20200			350 120	350	120	350	120
			300	300	100	300	100
			250 80	250	80	250	80
			200 60	200	60	200	60
	18	2	150 50; 177 40	0; 173	40	150	40
			-50; 139 100 20	100	20	100	20
			50	50	0	50	0
			-20 -250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200 250	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 2	-20	-250 -200 -150 -100 -50 0 50 100 150 200	-20
			————————————————————————————————————	——— №3ср ——— разн — — поро		—— №3ср —— разн — порог	. 230

