



№ _____

Утверждаю

Заместитель генерального директора –
 научного руководителя по инженерно-
 техническим вопросам



Н.С. Исаев

» июня 2018 г.

Протокол

Сравнительного анализа звучания пианино АМЕДЕУС и Zimmermann

Заключение по работе в рамках договора № 3202/У/03-18 между АО АКИН и ИП Рыбаковым

Резюме: Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что по критериям «Громкость», «Динамический диапазон» и «Время затухания на 30 дБ» отечественное пианино АМЕДЕУС не уступает немецкому пианино Zimmermann. Спектры звучания пианино АМЕДЕУС и Zimmermann весьма близки как по форме, так и по амплитуде, что может служить объяснением тембральной схожести инструментов, которую отмечают многие музыканты.

Звучание пианино АМЕДЕУС и Zimmermann исследовалось в сертифицированной заглушенной камере АКИН, что позволило зарегистрировать звучание инструментов, не искаженное отражениями (реверберацией помещения). Записывалось звучание всех 88 нот (клавиш) в нюансах *pp* и *ff*. Длительность звучания нот составляла от 8 секунд в верхнем регистре до 35 секунд в нижнем. Запись осуществлялась в программе Adobe Audition с использованием прецизионного анализатора спектра «Экофизика 110-А», работающего в режиме измерительного USB-микрофона и расположенного на расстоянии 3 м от инструментов. Качество звучания оценивалось по следующим критериям: максимальная громкость, динамический диапазон звучания, т.е. разница уровней звука в нюансах *pp* и *ff*, время затухания сигнала - спада уровня звука на 30 дБ. Также, анализировался спектральный состав сигналов.

Общий вид фонограмм представлен на рис. 1 и 2. Какой либо очевидной зависимости громкости сигналов от частоты (ноты) не прослеживается. У инструмента Zimmermann несколько громче звучат ноты во второй и третьей октаве, у АМЕДЕУС'а – ноты первой и второй октавы. Разброс данных одинаков на обеих фонограммах и объясняется, вероятно, так называемым «человеческим фактором», поскольку механика фортепиано (клавиши, молоточки, демпферы и другие детали инструмента), т.е. целая система механизмов и рычагов, собирается вручную, и инициирует звучание инструментов не механическое приспособление, а человек. Однако, усреднив данные по 88 клавишам, мы получаем статистически достоверный результат среднего уровня громкости звучания нот в том и другом нюансах. (В приложении к Заключению даны исходные фонограммы и Excel-файлы, со снятыми с фонограмм данными по громкости в нюансах *pp* и *ff*, их

разнице и результаты усреднения.) Разница в громкости звучания инструментов значительно меньше разброса громкости различных нот каждого инструмента. Динамический диапазон инструментов 27,8 дБ у АМЕДЕУС'а и 27,6 дБ у Zimmermann'a.

Показатель «Время затухания звука» представлен в графическом виде на рис. 3 в функции частоты (высоты ноты). Разброс данных здесь довольно велик для обоих инструментов, и в данном случае влияние пианиста на результат исключено полностью, поскольку время затухания звука на 30 дБ не зависит от интенсивности воздействия молоточков на струны. Разброс данных объясняется, как и выше, сложностью конструкции инструмента и, соответственно, зависимостью качества звука от чрезвычайно большого количества факторов. Отметим, что подобный разброс может быть обнаружен на любом инструменте, включая Steinway, однако к счастью, на слух он почти незаметен. Как видно из графика по этому показателю пианино АМЕДЕУС и Zimmermann идентичны.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что по критериям «Громкость», «Динамический диапазон» и «Время затухания на 30 дБ» пианино АМЕДЕУС не уступает пианино Zimmermann.

Сравнительный спектральный анализ проводился для одних и тех же нот, сыгранных на разных инструментах. На рис. 4 – 10 показаны спектры нот До во всех от Контр до Пятой октавах. Контрольные точки анализа – 300 мс после нажатия клавиши в басовом регистре, при этом БПФ осуществлялось по 8192 отсчётам, и далее 200, 100, 50, 20 мс с последовательным сужением окна Фурье-анализа до 1024 точек. Зеленый цвет соответствует пианино АМЕДЕУС, красный пианино Zimmermann. Как это видно на рисунке, обертоновый состав звучания ноты практически не отличается.

Спектры звучания пианино АМЕДЕУС и Zimmermann весьма близки как по форме, так и по амплитуде, что может служить объяснением тембральной схожести инструментов, которую отмечают многие музыканты.

Иллюстрации

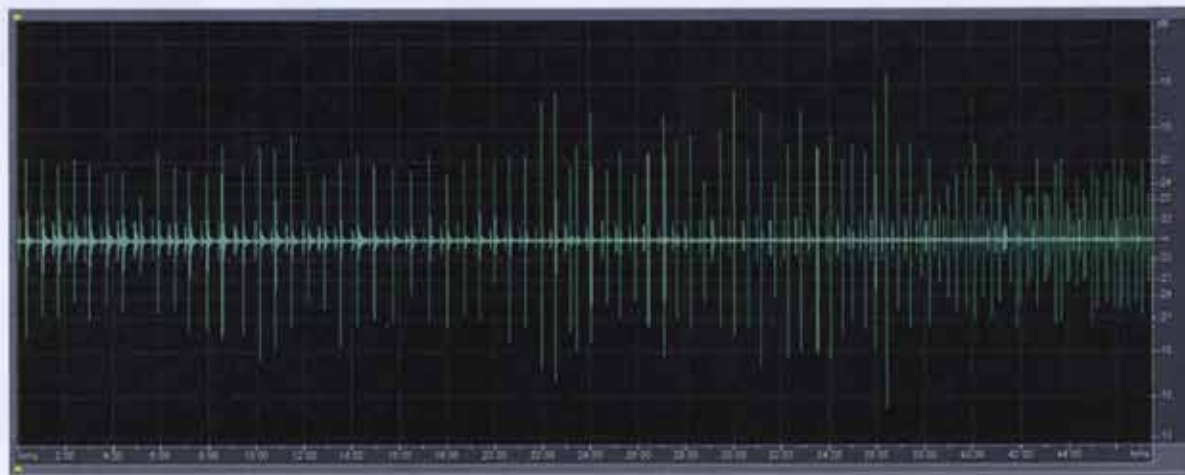


Рис. 1. Вид фонограммы звучания пианино АМЕДЕУС

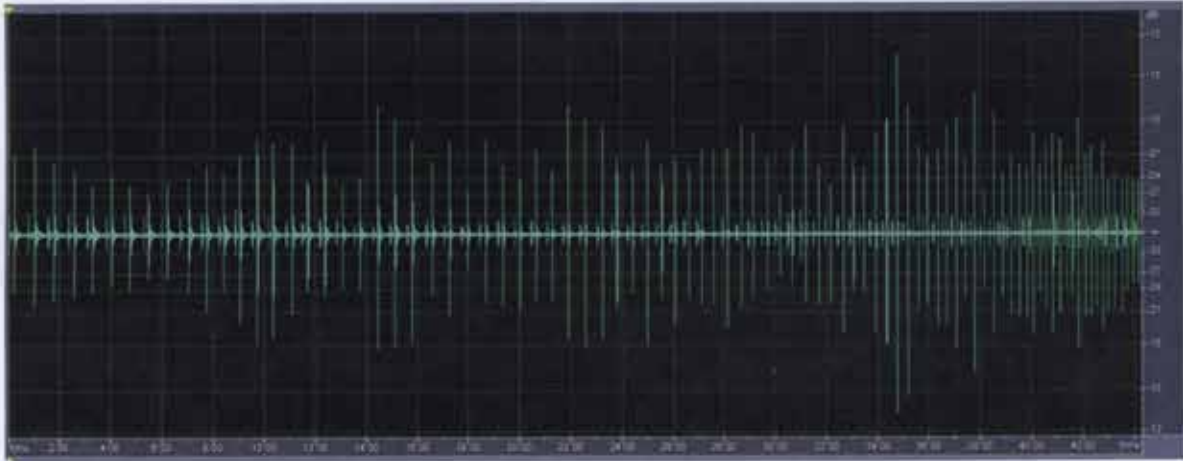


Рис. 2. Вид фонограммы звучания пианино Zimmermann.

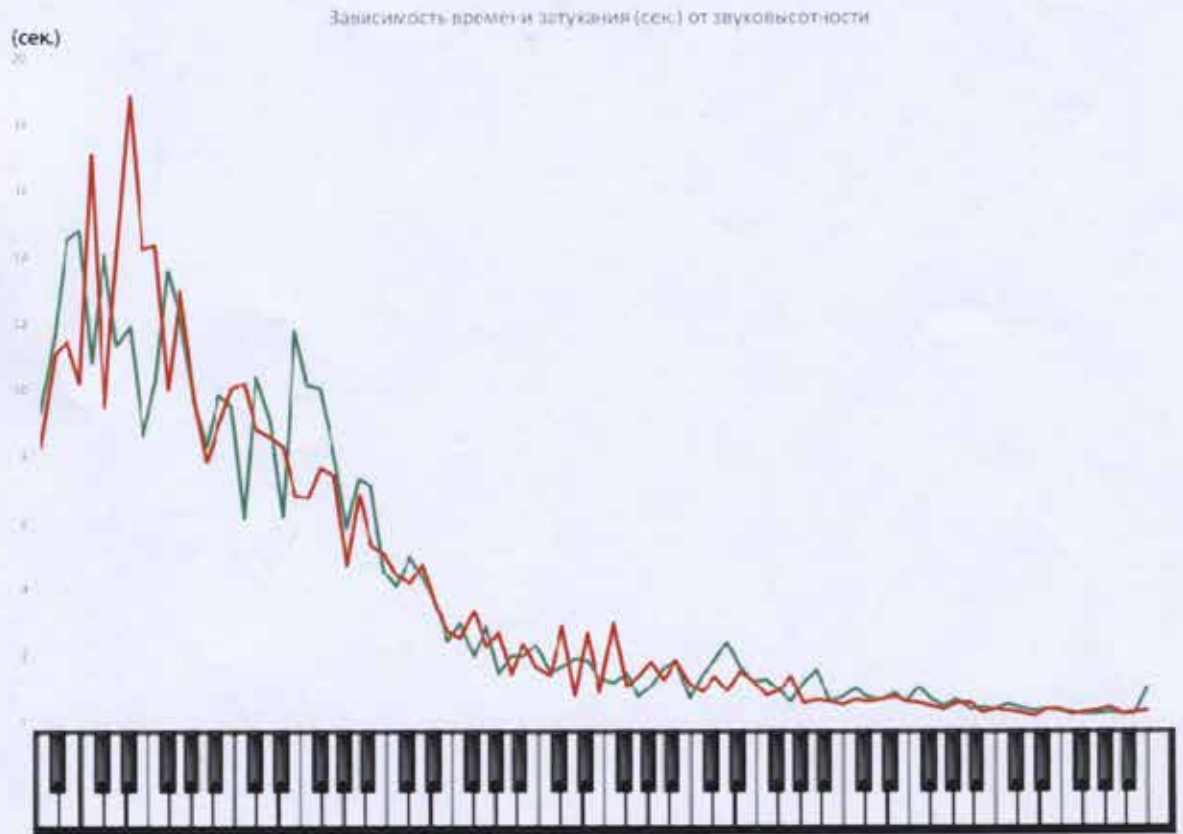


Рис. 3. Время затухания звука на 30 дБ по 88 клавишам от Ля Контр октавы до До пятой октавы.

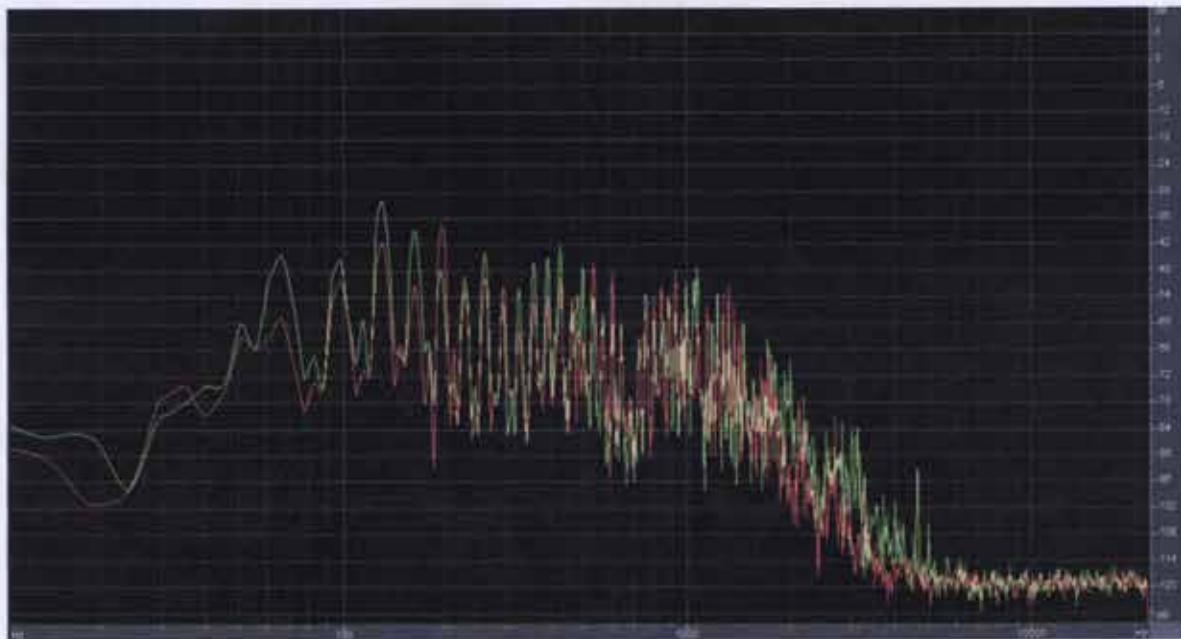


Рис. 4. Спектр ноты До Контр октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann– красный.

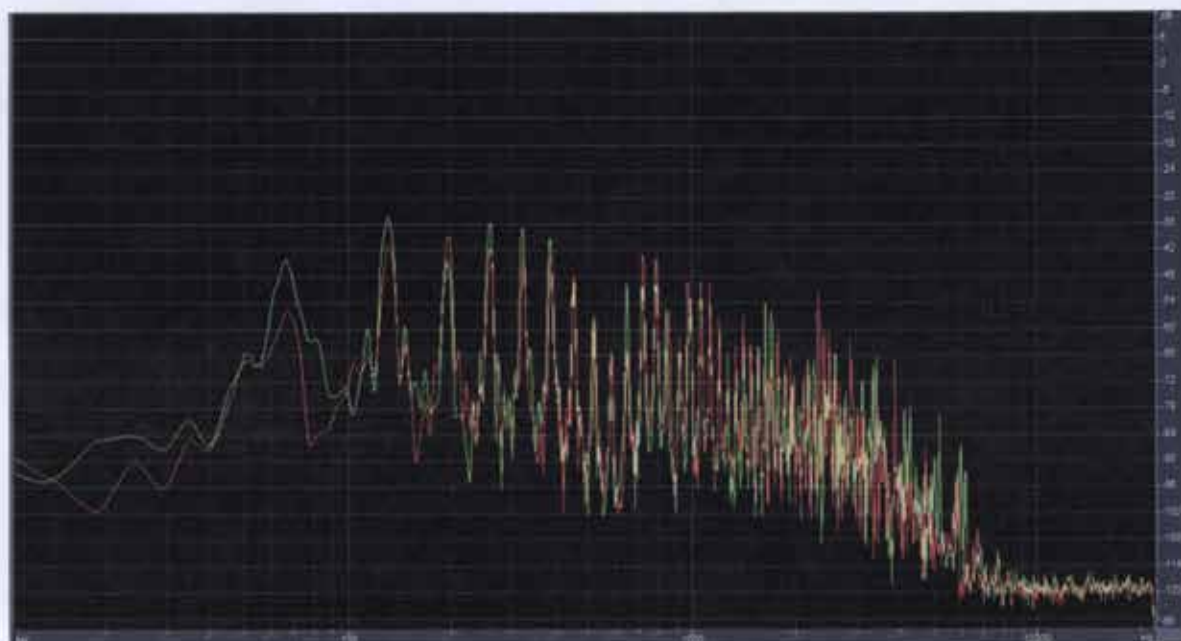


Рис. 5. Спектр ноты До Большой октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann– красный.

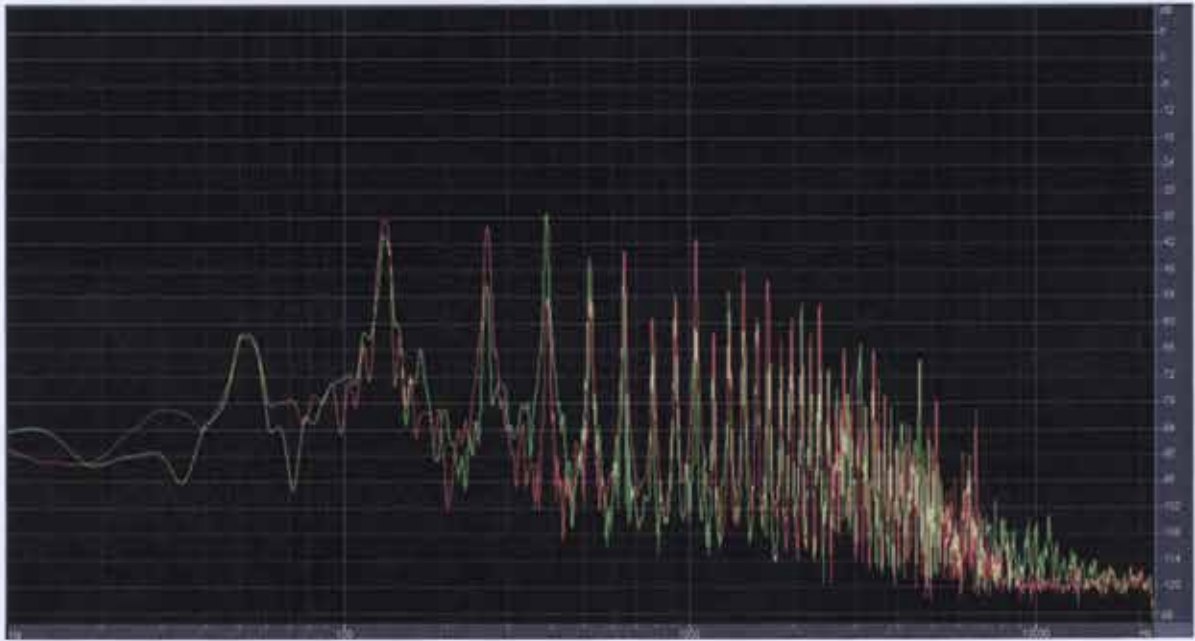


Рис. 6. Спектр ноты До Малой октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann – красный.

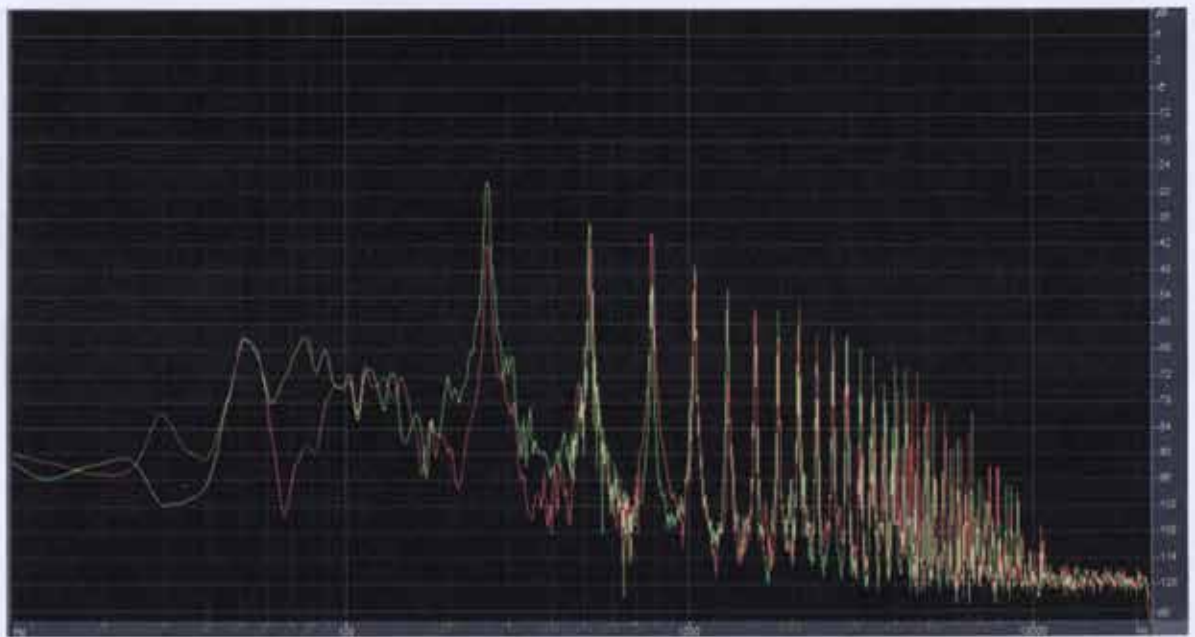


Рис. 7. Спектр ноты До Первой октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann – красный.

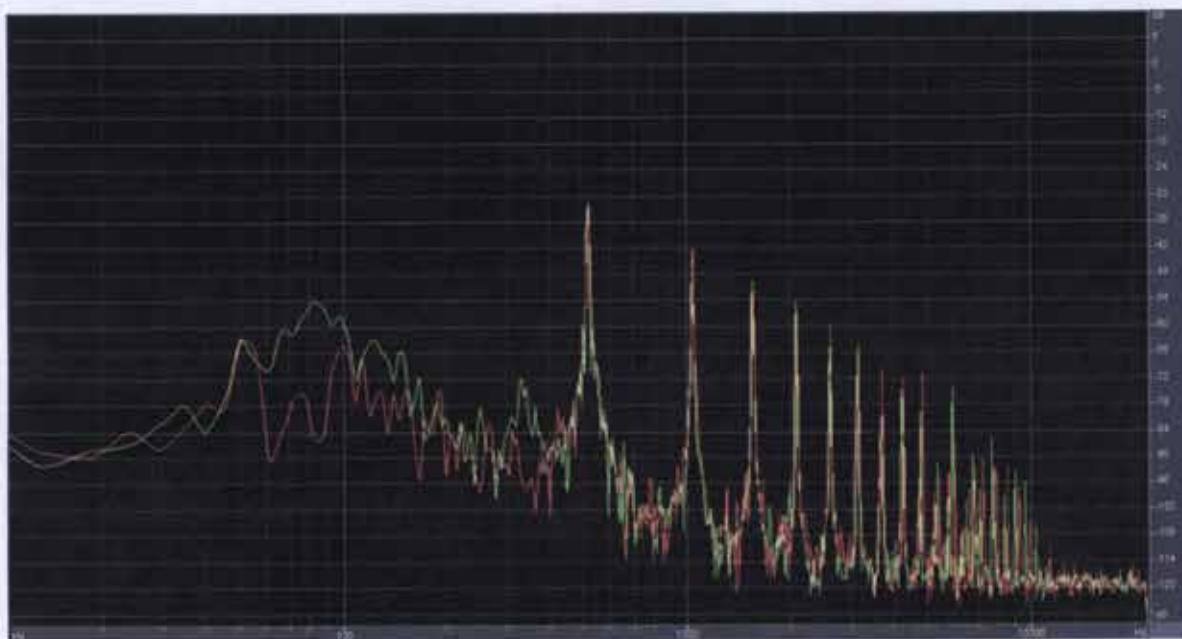


Рис. 8. Спектр ноты До Второй октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann – красный.

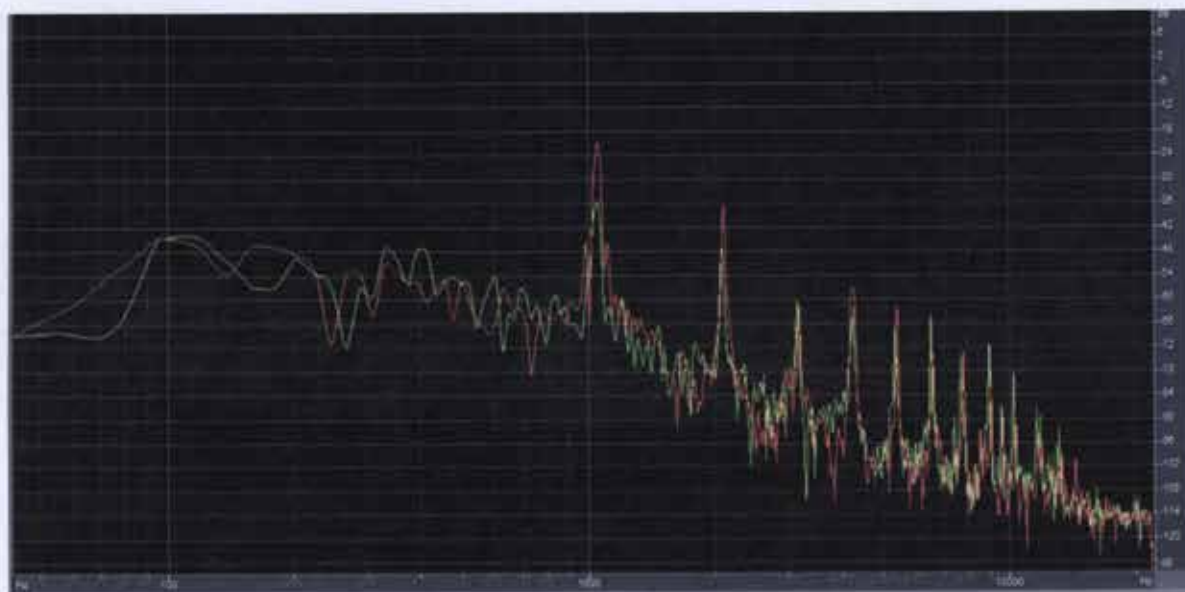


Рис. 9. Спектр ноты До Третьей октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann – красный.

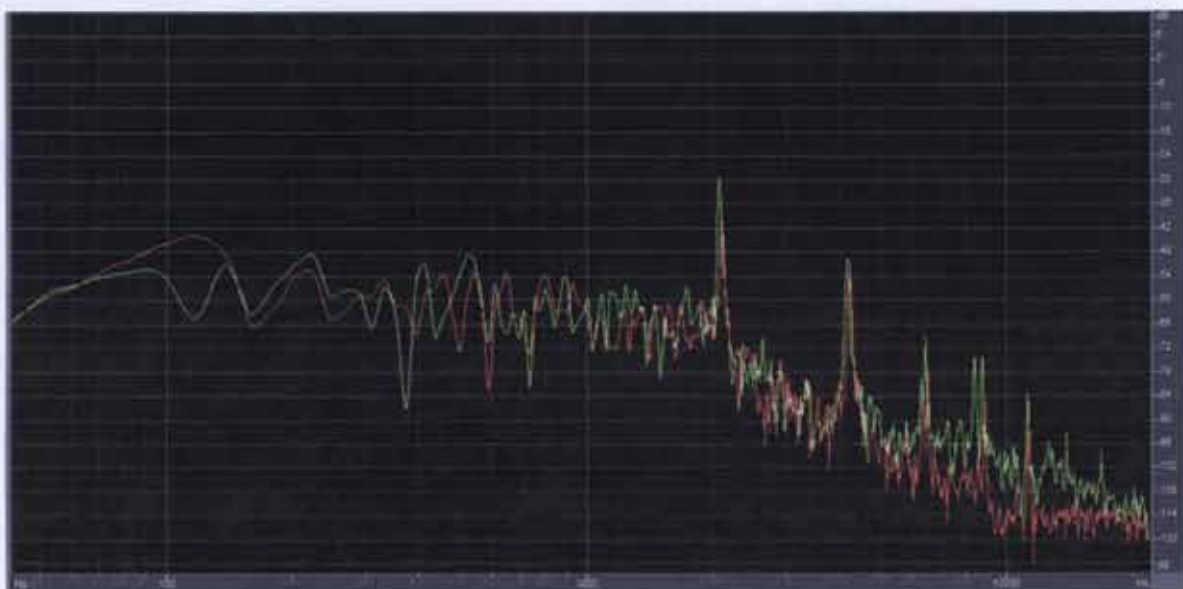


Рис. 10. Спектр ноты До Четвёртой октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann– красный.

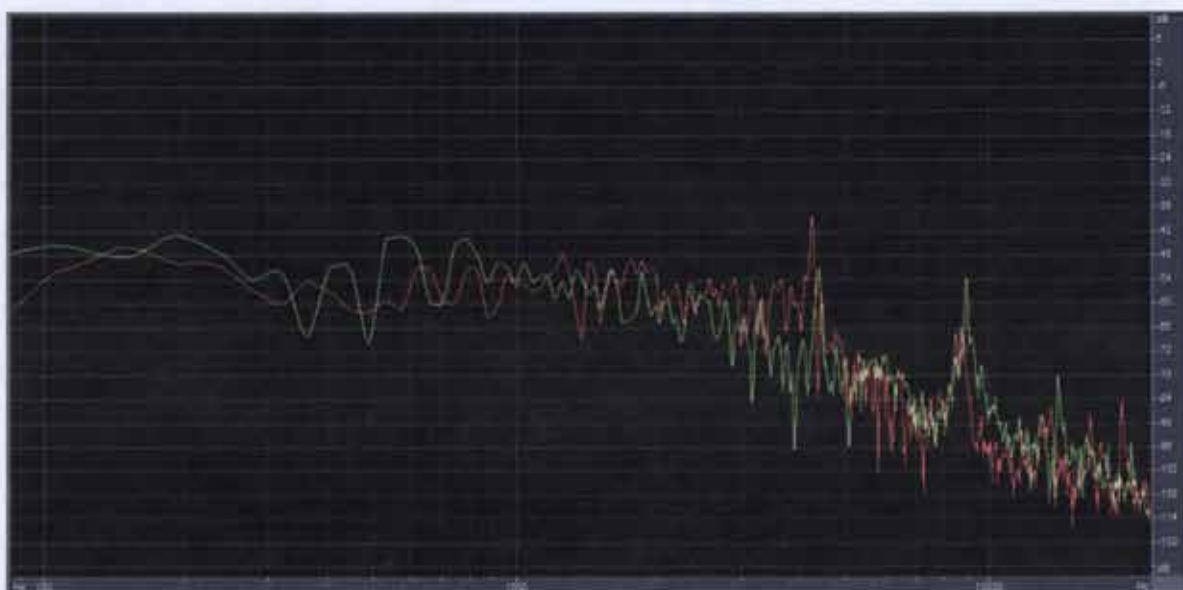


Рис. 11. Спектр ноты До Пятой октавы. АМЕДЕУС – зеленый цвет, Zimmermann– красный.

АМЕДЕУС

октава	Нота	Громкость pp ff (dB)	Громкость ff ff (dB)	Разность громкостей pp и ff (dB)	время затухания на 30dB (сек.)
суб контр	ля	57	23	34	9,293
	ля#	57	21	36	11,623
	си	36	21	15	14,454
контр	до	48	21	27	14,78
	до#	50	21	29	10,78
	ре	48	22	26	14
	ре#	43	22	21	11,299
	ми	40	26	14	11,846
	фа	45	20	25	8,574
	фа#	48	21	27	10,219
	соль	45	22	23	13,54
	соль#	51	23	28	12,185
	ля	41	21	20	9,6
большая	ля#	36	21	15	8,269
	си	46	20	26	9,812
	до	45	20	25	9,488
	до#	42	18	24	6,108
	ре	57	24	33	10,366
	ре#	48	22	26	9,061
	ми	47	21	26	6,153
	фа	39	20	19	11,7
	фа#	51	21	30	10,058
	соль	43	22	21	9,99
малая	соль#	45	22	23	8
	ля	51	20	31	5,82
	ля#	45	22	23	7,25
	си	51	21	30	7,063
	до	51	19	32	4,48
	до#	40	21	19	4,032
	ре	42	20	22	4,935
1-я	ре#	42	20	22	4,3
	ми	42	16	26	3,58
	фа	45	15	30	2,39
	фа#	42	19	23	2,9
	соль	42	16	26	1,905
	соль#	54	22	32	2,815
	ля	48	20	28	1,43
	ля#	48	22	26	1,911
	си	57	20	37	1,947
	1-я	до	51	17	34
до#		40	18	22	1,44
ре		54	18	36	1,579
ре#		55	23	32	1,84
ми		45	18	27	1,78

	фа	48	15	33	1,26
	фа#	54	20	34	1,105
	соль	52	16	36	1,393
	соль#	51	24	27	0,723
	ля	55	19	36	1,02
	ля#	51	17	34	1,553
	си	45	19	26	1,781
2-я	до	48	19	29	0,66
	до#	48	21	27	1,38
	ре	48	19	29	1,8
	ре#	45	20	25	2,342
	ми	48	16	32	1,60
	фа	42	15	27	1,19
	фа#	53	19	34	1,2
	соль	48	19	29	0,899
	соль#	51	26	25	0,582
	ля	51	20	31	1,112
	ля#	51	27	24	1,5
	си	52	24	28	0,552
3-я	до	53	22	31	0,7
	до#	48	22	26	0,925
	ре	45	19	26	0,7
	ре#	51	27	24	0,609
	ми	47	22	25	0,78
	фа	52	25	27	0,562
	фа#	50	28	22	0,99
	соль	57	24	33	0,607
	соль#	51	26	25	0,435
	ля	50	21	29	0,598
	ля#	54	26	28	0,353
	си	51	21	30	0,369
4-я	до	54	20	34	0,333
	до#	50	28	22	0,45
	ре	51	23	28	0,357
	ре#	54	25	29	0,283
	ми	51	22	29	0,33
	фа	51	23	28	0,296
	фа#	54	22	32	0,247
	соль	54	21	33	0,2
	соль#	54	21	33	0,195
	ля	57	23	34	0,225
	ля#	48	24	24	0,209
	си	54	21	33	0,175
5-я	до	54	25	29	0,92
среднее значение				27,625	

Zimmermann

октава	Нота	Громкость pp ff (dB)	Громкость ff ff (dB)	Разность громкостей pp и ff (dB)	время затухания на 30dB (сек.)
суб контр	ля	45	21	24	8,234
	ля#	48	20	28	11,031
	си	48	21	27	11,441
контр	до	51	22	29	10,19
	до#	48	25	23	17,064
	ре	48	23	25	9,491
	ре#	48	25	23	13,962
	ми	54	26	28	18,783
	фа	57	25	32	14,204
	фа#	45	24	21	14,299
	соль	48	22	26	10
	соль#	43	23	20	12,956
	ля	48	21	27	9,717
большая	ля#	42	19	23	7,771
	си	48	20	28	8,932
	до	54	20	34	10
	до#	51	24	27	10,182
	ре	40	20	20	8,778
	ре#	57	25	32	8,53
	ми	54	24	30	8,262
	фа	45	17	28	6,792
	фа#	36	18	18	6,699
малая	соль	39	19	20	7,592
	соль#	51	22	29	7,369
	ля	48	20	28	4,689
	ля#	48	26	22	6,788
	си	57	19	38	5,27
	до	45	22	23	5,002
	до#	51	24	27	4,376
	ре	43	20	23	4,108
	ре#	51	22	29	4,689
	ми	42	17	25	3,483
1-я	фа	48	18	30	2,679
	фа#	42	18	24	2,501
	соль	45	21	24	3,304
	соль#	51	23	28	2,233
	ля	51	20	31	2,635
	ля#	51	22	29	1,427
	си	45	22	23	2,318
	до	51	22	29	1,575
	до#	45	20	25	1,341
	ре	45	20	25	2,833
1-я	ре#	40	18	22	0,738
	ми	48	19	29	2,65
	фа	52	21	31	0,843
	фа#	51	27	24	2,888

	соль	51	20	31	1,031
	соль#	51	18	33	1,319
	ля	50	22	28	1,719
	ля#	54	25	29	1,224
	си	51	18	33	1,773
2-я	до	51	21	30	1,08
	до#	48	22	26	0,837
	ре	54	19	35	1,302
	ре#	45	18	27	0,903
	ми	45	14	31	1,446
	фа	42	17	25	1,159
	фа#	48	20	28	0,742
	соль	57	21	36	0,879
	соль#	51	21	30	1,298
	ля	53	18	35	0,524
	ля#	45	17	28	0,6
	си	51	21	30	0,58
3-я	до	54	16	38	0,495
	до#	51	26	25	0,635
	ре	51	17	34	0,546
	ре#	54	23	31	0,62
	ми	54	21	33	0,715
	фа	51	22	29	0,552
	фа#	51	22	29	0,501
	соль	48	19	29	0,403
	соль#	51	22	29	0,32
	ля	48	20	28	0,515
	ля#	54	19	35	0,497
	си	54	19	35	0,23
4-я	до	54	23	31	0,338
	до#	48	22	26	0,263
	ре	48	18	30	0,248
	ре#	48	21	27	0,143
	ми	48	20	28	0,334
	фа	54	24	30	0,31
	фа#	42	20	22	0,208
	соль	48	24	24	0,221
	соль#	51	24	27	0,274
	ля	55	25	30	0,379
	ля#	50	24	26	0,211
	си	46	24	22	0,219
5-я	до	51	25	26	0,268
сред значение				27,84090909	

Ведущий инженер, к.т.н.



М.В.Селиванов