

## ПАСПОРТИЗАЦИЯ КОЛОКОЛОВ ПО АКУСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

*В. И. Зинченко, А. Ю. Антамошкин, А. Б. Никаноров*

После многих лет забвения и разрушения настало время восстановления колокольных звонов. Восстанавливается колоколотейное производство, образована Ассоциация колокольного искусства, создаются школы звонарей, проводятся праздники колокольных звонов и колокольные ярмарки.

Колокольные звоны обладают большой, несравнимой ни с чем, силой эмоционального воздействия и оказывают благотворное влияние на настроение и самочувствие людей.

Необходимость профессионально-грамотного подхода к восстановлению или созданию новых колокольных звонов диктуется большим их социальным и экологическим значением. К сожалению, при восстановлении звонов, проводимых пока по субъективным оценкам, далеко не всегда удается избежать ошибок при подборе необходимого по звучанию колокола, тем более звукоряда.

Лаборатория виброакустики ЦНИИМФ разработала методику оценки объективных характеристик колоколов, используя современное быстродействующее, в т. ч. на базе ПЭВМ, оборудование, обеспечивающее анализ акустических процессов в реальном масштабе времени, тем самым созданы предпосылки для аттестации колоколов. По нашему мнению, каждый колокол должен снабжаться акустическим паспортом, включающим в себя, как минимум, основные размерения, частотный спектр — один или лучше три: в момент удара, через 0,5 и 2,0 сек. после удара и ряд других акустических характеристик; относительный спектр (отношение частот к основному тону), уровни звукового давления в момент удара, стандартное время затухания по частотам (время снижения уровня звукового давления на 60 дБ), нотное обозначение по основному тону и/или нотную строку звукового импульса в момент удара. Для более полной характеристики особо ценных колоколов или колоколов звукоряда, к которому предъявляются высокие требования, — также сведения о составляющих с биениями, частота и форма их биений, наличие сдвоенных (строенных) частот.

Акустический паспорт звонницы (звукоряда) должен содержать парпорта на каждый колокол, нотную строку звукоряда, обобщенную характеристику затухания, отношение пер-

вых пяти частот колоколов, к частотам главного колокола звонницы, частотно-массовая характеристика звукоряда.

Установлено, что самым лучшим материалом для колокола является колокольная бронза — 20—22% олова и 78—80% меди, без каких-либо примесей (не более 1,0—1,5%).

На рис. 1 а и б представлены в качестве примера спектры колокола «Безымянный» Ростовской звонницы, измеренные анализатором в реальном масштабе времени через 0,5 и 2,0 сек. после удара.

В таблице 1 приведены акустические параметры этого колокола. Основные частоты в таблице и на спектрах обозначены индексами  $f_1$   $f_2$  ...  $f_n$ . Индексом  $f_1$  — обозначен унтертон — самый низкий излучаемый колоколом звук; индексом  $f_2$  — основной тон, частота и нотное обозначение которого может быть положено в основу названия колокола;  $f_3$  ...  $f_n$  — обертоны.

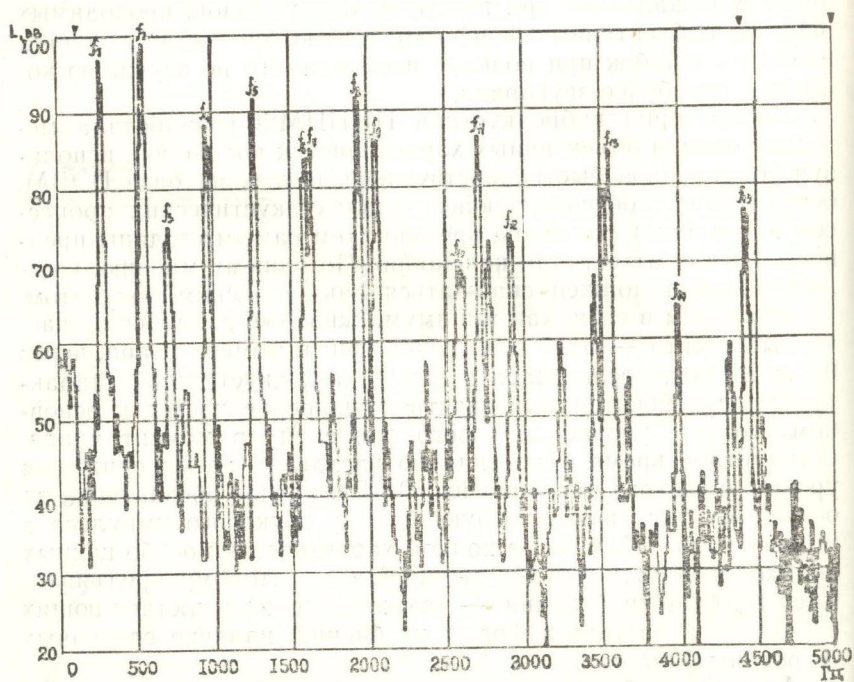


Рис. 1а. Колокол «Безымянный» № 9. 0,5 сек. после удара.

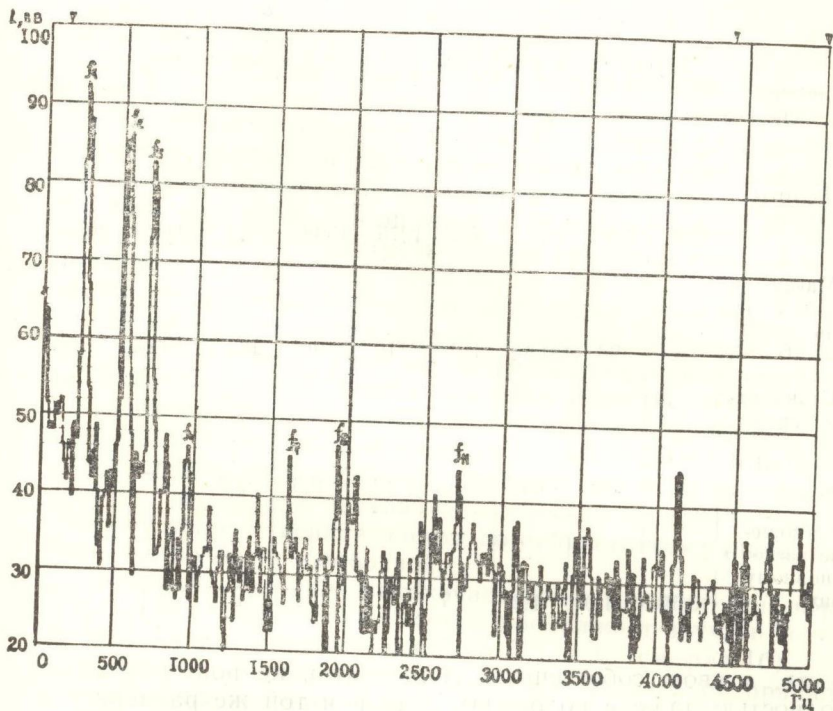


Рис. 16. Колокол «Безымянный» № 9, 2,0 сек. после удара.

Структура спектра, т. е. значения и уровни звукового давления частотных составляющих, зависят от размеров, профиля, точности технологии изготовления колокола, места удара, а также материала, размеров и массы<sup>1</sup>.

При выборе звукоряда к которому предъявляются высокие требования, колокола подстраиваются проточкой профиля. Эта работа требует высокой квалификации и применения точных звуковых анализаторов. Подстройка может осуществляться максимум на полтона и если требуется больше, то колокол переливается.

Значения частот собственных колебаний колокола, определяются своим, присущим только данной частоте, расположением узловых линий по меридианам и окружностям колокола<sup>2</sup>. Основное отличие колокола от любого другого музыкального инструмента заключается в том, что спектральные составляющие его имеют не гармоническую последователь-

Таблица 1

Наименование	Акустические параметры колокола «Безымянный» № 9								
	$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$
Частоты звучания колокола, Гц	290	556	715	965	1275	1598	1633	1941	2056
Максимальный уровень звучания, дБ	99	98	105	101	110	96	102	106	93
Стандартное время затухания (на 60 дБ), сек.	28	9,4	6,6	2,1	1,2	2,3	2,2	1,7	1,6
Отношение частот к основному тону	0,52	1,0	1,2	1,7	2,2	2,8	2,9	3,4	3,7

ность, а свою собственную уникальную, не повторяющуюся полностью даже в колоколах одной и той же размерности. Поэтому каждый колокол должен иметь свой акустический паспорт.

Очень важной характеристикой, определяющей качество колокола является относительный спектр (см. табл. 1, нижняя строка).

Критерием высококачественного звучания является относительный спектр идеально звучащего колокола<sup>3</sup>.

Таблица 2

$f_1$	$f_2$	$f_3$	$f_4$	$f_5$	$f_6$	$f_7$	$f_8$	$f_9$	$f_{10}$	$f_{11}$	$f_{12}$
0,5	1,0	1,20	1,50	2,0	2,5	2,667	3,00	4,00	5,33	6,667	8,0

От хорошего октавного колокола требуется, чтобы пять самых нижних собственных колебаний давали интервалы — унтероктавы —  $f_1$ , примы —  $f_2$ , терции —  $f_3$  (минорной или

мажорной), квинты —  $f_4$  и верхней октавы —  $f_5$ , а на частотах выше  $f_5$  должно быть октавное распределение. Плотность спектра на высоких частотах обычно увеличивается. Частоты колебаний в верхней части спектра сильнее реагируют на ошибки в профиле и технологии литья, особенно несимметричности колокола, поэтому совпадение с идеальным относительным спектром достигается с большим трудом. Однако, при точном литье и настройке путем проточки, колокола подбираются с достаточно малым ( $\pm 0,5$ — $1,0\%$ ) отклонением частот от требований идеального звучания<sup>4</sup>.

Сложность субъективной оценки звучания колокола заключается в том, что в силу неравномерного времени затухания по частотам (рис. 2), форма спектра и звучание колокола после удара быстро меняются во времени, и человек на слух воспринимает нечто среднее по частоте и по времени. Мозг, подключаемый в таких условиях к анализу частот, может выдать данные, которые в звуковом импульсе не существуют [3]. Поэтому количественная оценка по субъективному ощущению чаще всего бывает ошибочной.

В спектре колокола высокочастотные составляющие через  $1,5$ — $2,0$  сек. затухают, и колокол продолжает звучать только за счет триады основных тонов —  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  (см. рис. 1б), благозвучность которых зависит в первую очередь от правильного соотношения частот ( $0,5$ ;  $1,0$ ;  $1,2$ ).

На рис. 3 представлена нотная строка колокола в начальный период звукового импульса. Величина несоответствия частоты звучания с нотой равномерно темперированного строя указана в нижней части строки в центах. Нотная строка, составленная на базе объективных данных, точно отражает тональность звукового импульса, но как и все музыкальные ноты, она не может отобразить такую важную характеристику звука, как громкость, которая у каждой частотной составляющей разная и почти мгновенно меняющаяся. Поэтому нотная строка может служить лишь частью общего комплекса акустических характеристик колокола. Нотная строка звонницы дает более важную информацию о качестве звучания всего звукоряда. Она может быть составлена по данным акустических паспортов подбираемых колоколов, что позволяет исключить ошибки при подборе звукоряда.

Важную роль играет форма огибающей спектра по уровню звукового давления. Колокол неприятно звучит, если у него высокочастотные составляющие имеют большую громкость. Они маскируют нижние частоты до тех пор, пока соотношение

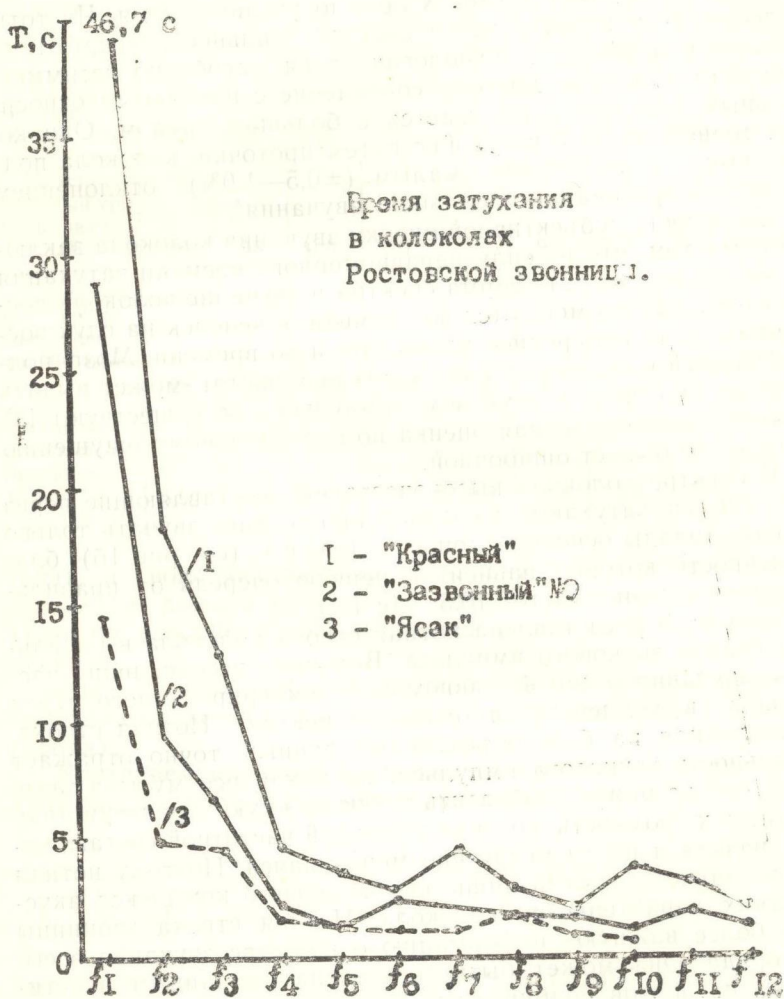


Рис. 2.

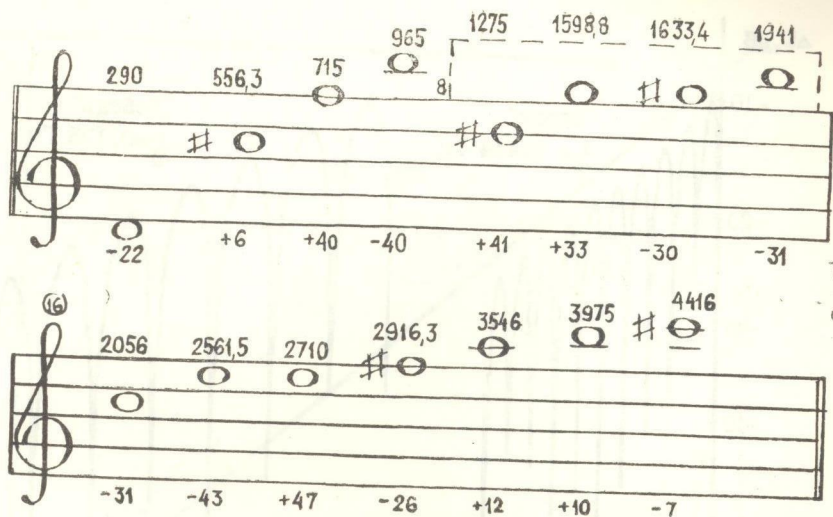


Рис. 3. Нотная строка колокола.

их уровней звука не изменится. Форма спектра в момент удара может быть улучшена изменением параметров удара (масса, материал языка, место удара).

Практически все, даже самые лучшие колокола имеют биение на одной-двух (иногда и более) частотах. Как видно из рис. 4, уровни звукового давления при наличии биений могут колебаться на 30—40 дБ. Низкочастотные биения 0,1—0,4 Гц не снижают качества звучания колокола, если биения осуществляются на более высоких частотах (свыше 1—2 Гц) звучание колокола неприятно.

Акустический паспорт звукоряда формируется из паспортов отдельных колоколов и других упомянутых выше характеристик как единый документ. Нотная строка составляется для основного тона или одновременно для триады первых долговзвучающих тонов —  $f_1$ ,  $f_2$  и  $f_3$  по той же методике, как и для отдельного колокола, но с указанием принадлежности ноты к колоколу.

Обобщенная характеристика затухания —  $T$  строится как функция  $T=f(D)$ , где  $D$  — нижний диаметр колокола в м. На рис. 5 показана характеристика  $T=f(D)$  для ростовской звонницы, из которой видно, что колокол «Голодарь» сильно выпадает из общей закономерности. Многие специалисты на основе субъективных оценок считают, что «Голодарь» не со-

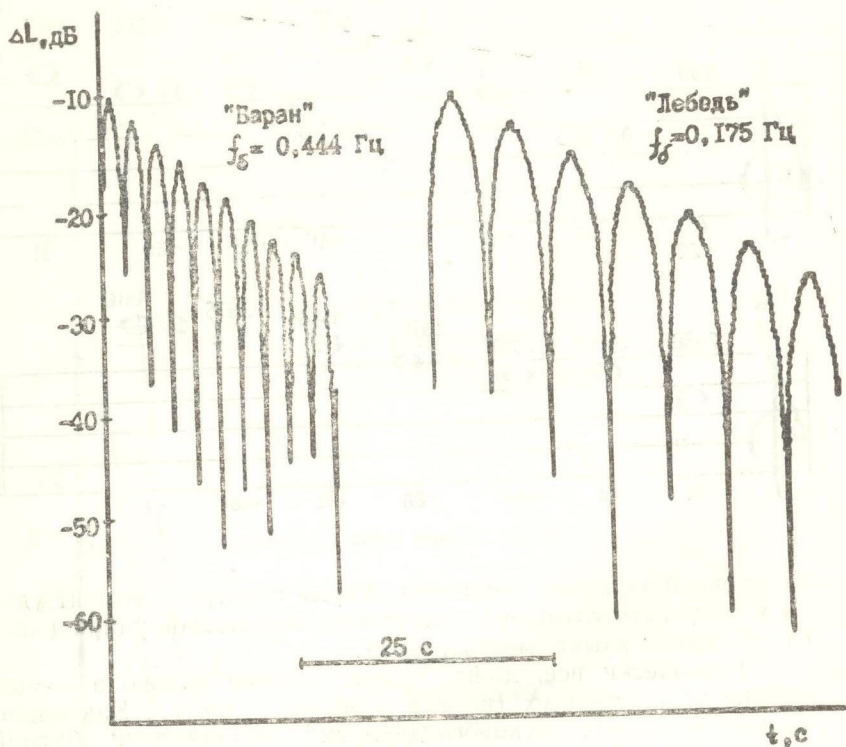


Рис. 4. Биения звука в колоколах.  $f_{\delta}$  — частота биений.

звучен с колоколами звукоряда<sup>5</sup>. Большой разброс параметра  $T$  свидетельствует о невысоком качестве подбора колоколов в звукоряде.

Частотно-массовая характеристика звукоряда строится как функция масса — частота ( $f=F(m)$ ). Значение частот  $f_n$  зависит у колокола от массы. В логарифмическом масштабе у хорошо подобранных колоколов точки значений  $f_n$  ложатся на прямые линии. Большой разброс свидетельствует о том, что подобие колоколов в звукоряде нарушено. На этом же графике наносятся сдвоенные (строенные) частоты.

Получение объективных акустических характеристик открывает следующие принципиальные возможности в развитии колокольного искусства.



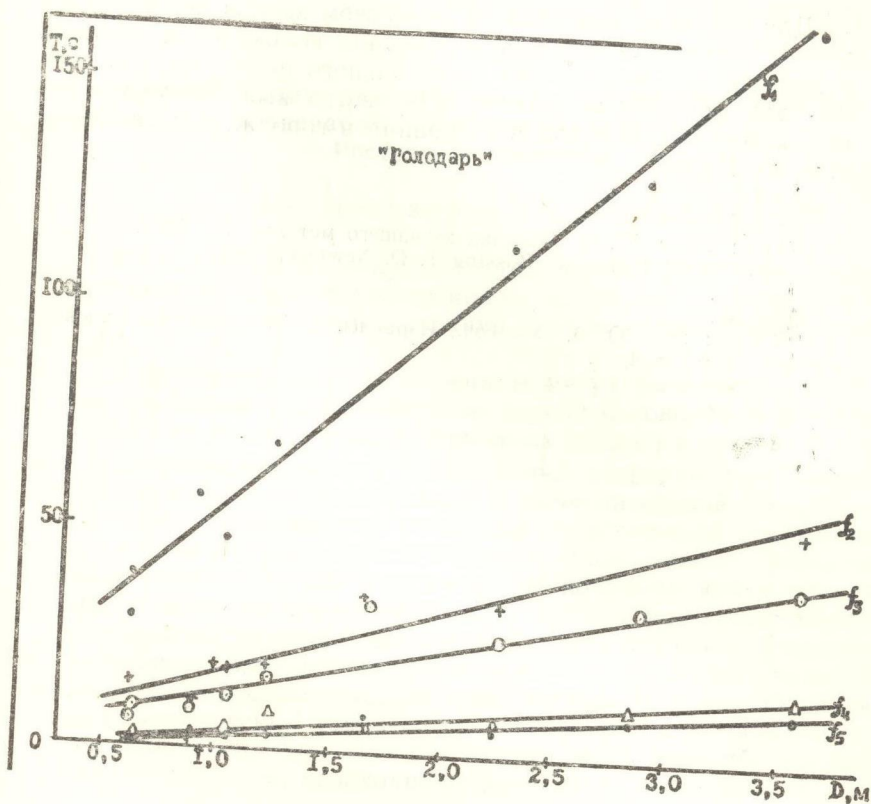


Рис. 5. Характеристика  $T=f(D)$  для ростовской звонницы.

Аттестация колоколов по объективным акустическим характеристикам; выбор колокола с высококачественным звучанием; подбор требуемого звукоряда; перестройка имеющихся наборов колоколов на звонницах музея, города или района в мелодичные звукоряды; создание банка (архива) данных колоколов; контроль качества и настройка колоколов; возможность стандартизации колоколов по заданным акустическим параметрам; изучение музыкальных закономерностей (характеристик) исторических колоколов и звонниц и др.

Для введения контроля за качеством звонов должен быть создан Центр или Бюро по аттестации колоколов и звонниц, например, при Ассоциации Колокольного искусства, с особыми полномочиями по контролю качества выпускаемых и устанавливаемых колоколов и звонниц в городах и населенных пунктах России.

---

<sup>1</sup> Пухначев Ю. В. Загадки звучащего металла. М., 1974.

<sup>2</sup> Acoustics of Bells, Ed. Rossing T. D. Newjork, 1984.

<sup>3</sup> Там же.

<sup>4</sup> Там же.

<sup>5</sup> Пухначев Ю. В. Ук. соч.; Израилев А. А. Ростовские колокола и звоны. СПб., 1884.