

## К ВОПРОСУ О СПЕКТРАЛЬНО-ТЕМБРОВЫХ СООТВЕТСТВИЯХ В ПЕВЧЕСКОМ ГОЛОСЕ

**А. Б. АНАНЬЕВ, канд.техн.наук**

*НТУУ «КПИ», г.Киев, Украина, e-mail: anatok@yandex.ru*

Рассматриваются спектральные функции, типичные для звуков певческого голоса. Обсуждается роль различных областей спектра в восприятии тембра звука. Предложена модель спектра, которая позволяет выполнить серию экспериментов для выбора номенклатуры названий тембров.

The study showcases typical sung sound spectra accompanied by a discussion of the role of various spectral areas in the sung sound timbre perception. The discussion leads to introduction of the sung sound spectral model, which is specifically developed to be used in experiments for selecting and standardizing sung sound timbre description terms.

### ВВЕДЕНИЕ

Необходимость формализованного документирования певческого голоса, например, в задачах экспертного оценивания, остро ставит вопрос о терминологии для описания тембровых свойств звука.

Среди базовых характеристик музыкального звука (мы считаем базовыми те характеристики, которые отражаются в партитуре музыкального произведения) громкость, высота и длительность определяются соответствующими физическими параметрами, которые могут быть измерены и сопоставлены между собой в пределах некоторой шкалы.

Тембр занимает особое место в ряду характеристик музыкального звука. Для этой характеристики не определены однозначно физические факторы, ее порождающие. Тембр формально определяют как свойство, которое позволяет различить два звука с одинаковой высотой, громкостью и длительностью. Такая несовершенная формулировка позволяет включать в объективные характеристики, определяющие тембр, неопределенное количество физических факторов по усмотрению исследователя. В партитуре музыкального произведения тембровая проблема решается указанием конкретного инструмента, которому поручена исполняемая партия. Для певческого же голоса «окраска» звука требует описания, которое, как правило, носит совершенно волюнтаристский характер. Примеры описаний тембров приведены в работе Ирины Алдошиной [1], где содержится примерно 200 слов, собранных из 30 технических книг и журналов. Большая часть применяемых терминов носит характер исключительно личных ассоциаций и, разумеется, не может быть использована для передачи сведений об окраске звука другим лицам. К числу таких терминов мы относим, например, *stuffy* – душный, *tart* – кислый, *grave* – серьезный и т.п.

### ТЕМБР И СПЕКТР

Вероятно, одним из первых серьезных определений тембра была формулировка Г.Гельмгольца [2] «Обратим внимание только на музыкальную часть звука, соответствующую равномерно правильно периодическому движению воздуха и будем искать отношения между его сложением из отдельных тонов и оттенком звука; особенности оттенка, которые сюда относятся, мы будем просто называть оттенком музыкального звука». Здесь под словом «оттенок» понимается именно то, что сегодня называют тембром.

А одним из наиболее широких является взгляд Л.А.Кузнецова [3], в соответствии с которым «...кроме основных параметров звука, характеризующих его тембр, имеется ряд дополнительных. К ним относят реверберацию, вибрато, унисон (хорус - chorus), негармоничность обертонов, биения, расстояние до источника звука, нелинейность кривых равной громкости, нелинейность амплитудной характеристики слуха. На тембровое восприятие звука оказывают влияние условия его воспроизведения (вид исполняемого музыкального произведения, наличие посторонних шумов и т.д.), психологическое состояние слушателей (эмоциональный подъем или подавленность, предвзятое отношение к прослушиваемой музыке, музыканту или музыкальному инструменту, индивидуальные особенности слуха [...] и музыкальный вкус слушателей...».

Как видно, здесь в понятие тембра включены все мыслимые факторы, влияющие на восприятие звука слухом.

Мы полагаем, что слово «тембр» является термином, за которым должна стоять четко определенная совокупность параметров, доступных для измерения. При этом весьма желательно, чтобы эта совокупность была небольшой настолько, чтобы ее было возможно и удобно осмысливать [4]. В нашей работе понятие тембра певческого голоса ассоциируется со спектром звука, и мы различаем в спектре несколько элементов, ответственных за тембровую окраску, а именно – нижнюю и верхнюю певческую форманты, высокочастотные форманты энергетические области, а также шумовые межгармонические промежутки.

## СПЕКТРЫ ЗВУКОВ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

На рис.1 показаны спектры звука фа 2 октавы из арии «O Patria Mia» (Дж.Верди, «Аида») в исполнениях двух великих певиц М.Кабалье (а) и Р.Тебальди (б). Понятно, что эта нота исполнялась в приблизительно одинаковой эмоциональной обстановке, что позволяет сопоставлять тембровые впечатления от голосов певиц. Эти впечатления соответствуют спектральным картинам, огибающие которых показаны на рис.2. Очевидно, что верхняя певческая форманта у Р.Тебальди выражена более значительно. С другой стороны, в спектре М.Кабалье отчетливо выражены высокочастотные области вблизи 6000 Гц и 8000 Гц, которые формируют паразитные призвуки в исполняемой ноте. Указанные особенности хорошо ощущаются при прослушивании звуков.

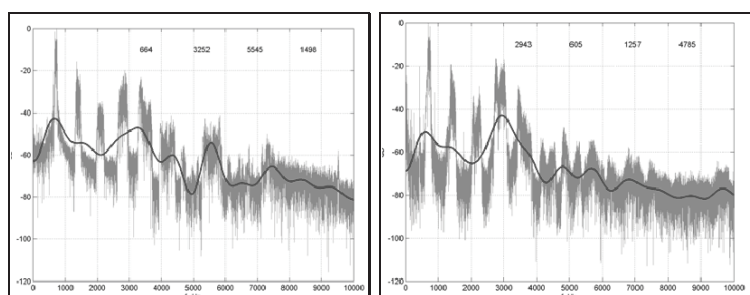


Рис.1 (а,б)

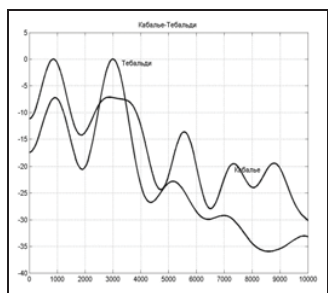


Рис.2,

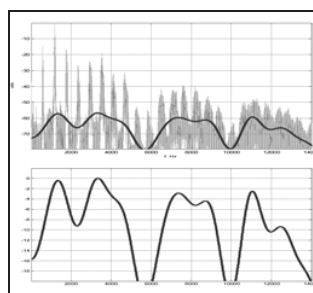


Рис.3

На рис.3 показан спектр и его огибающая для ноты, спетой начинающей певицей. Здесь значительная часть энергии звука принадлежит областям частот в районе 8000 Гц и 12000 Гц – эти «свистящие» области, которые тоже уместно назвать формантами<sup>1</sup>, участвуют в формировании тембровой картины звука.

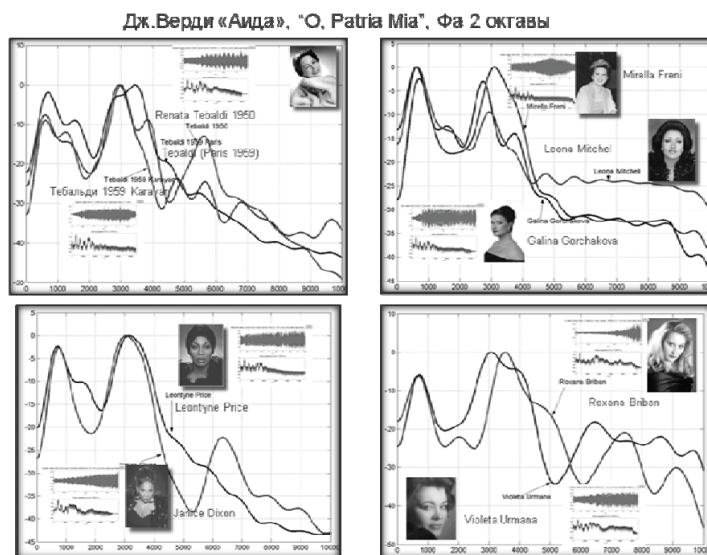


Рис.4

На рис.4 показана разбитая на 4 группы серия спектров одной и той же упомянутой ранее ноты (фа 2 октавы) из арии “O, Patria Mia” в опере Дж.Верди «Аида» в исполнении различных певиц. Там же можно видеть и временные реализации этих звуков. Одна и та же нота при сравнительно общей эмоциональной трактовке исполняется певицами, как это видно, совершенно различным образом. И длительность, и степень напряженности, и динамика – все характеристики звуков указывают на то, что сопоставление исполнителей в категориях «хорошо\плохо» не просто затруднительно, а, скорее, даже неправомерно. Однако, даже при этом представляется очевидным, что тембровые различия вокала могут быть отмечены как в субъективных терминах, так и в терминах, относящихся к характеру спектральных кривых для исполненных звуков.

На рис.5 для иллюстрации призвуковых областей в голосах профессиональных певцов приведен спектр звука, спетого известной в прошлом певицей Анной Герман.

<sup>1</sup> Формантой называют область существенного энергетического подъема в некотором интервале частот спектра звука.

Сплошными линиями показана огибающая этого спектра. В нижней части рисунка располагаются фрагменты спектра, выделенные обработкой сигнала в пакете Матлаб. Эта обработка позволяет прослушивать отдельные частотные области звука и сопоставлять слуховое впечатление от них со слуховым впечатлением от звука в целом. В рамках настоящего исследования такая работа была проделана для ряда исполнителей, что позволило судить о вкладе каждой области спектра в целостное восприятие тембра голоса каждого певца.<sup>2</sup>

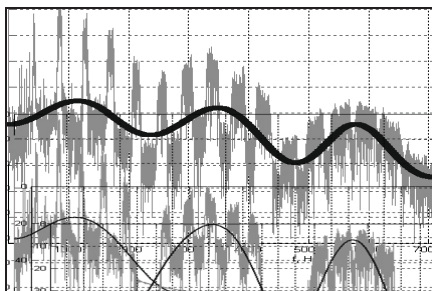


Рис.5

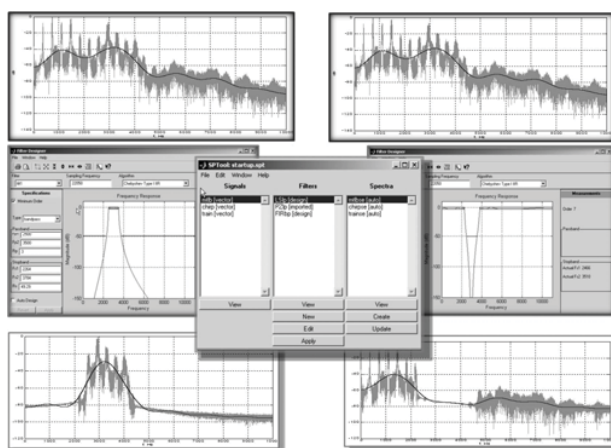


Рис.6

Заметим, что указанная работа выполнена преимущественно с применением комплекса SPTool, входящего в состав пакета MatLab (см.рис.6). Это блестяще спроектированное программное средство действительно становится комфортным «хирургическим» инструментом в руках исследователя, заинтересованного в анализе фрагментов спектра сигнала.

## МОДЕЛЬ СПЕКТРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМБРА

Итогом обстоятельного экспериментального исследования явилась разработка обобщенной модели спектра певческого звука, предназначенной для выявления характерных особенностей в восприятии тембров.

<sup>2</sup> В презентации, сопровождающей изложение этого материала на симпозиуме, приведено большое количество иллюстративных звуков, демонстрирующих фрагменты спектров для ряда известных певцов.

В качестве модели огибающей спектра в области нижней певческой форманты мы предлагаем функцию, близкую по форме к релеевской, а именно (формула (1) и рис.7а,б):

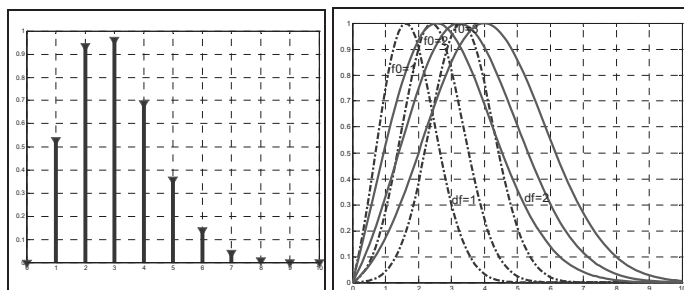


Рис.7 а,б

$$\rho(f) = \frac{f}{\delta f^2} \exp\left(-\frac{(f-f_0)^2}{2\delta f^2}\right) \quad (1)$$

В области верхней певческой форманты в качестве огибающей спектра выбрана функция колокольного типа (формула (2) и рис.8 а,б). На рисунках 7 и 8 варианты а) и б) представляют возможный набор гармоник в форманте, а также ее огибающую):

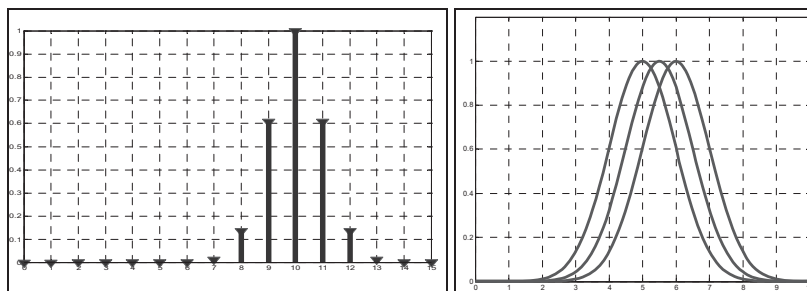


Рис.8 а,б

$$\rho(f) = \exp\left(-\frac{(f-f_0)^2}{2\delta f^2}\right) \quad (2)$$

В выражениях (1), (2)  $f_0$  и  $\delta f$  – параметры, влияющие на местоположение и ширину формант на оси частот.

Таким образом, основная (именно «певческая», по-украински «співоча») часть спектра звуков формируется последовательностью гармоник в соответствии с выражением

$$S_{II} = \sum_{k=1}^{N_n} \frac{k \cdot f_1}{\delta f_n^2} \cdot e^{-\frac{(kf_1 - f_{0n})^2}{2\delta f_n^2}} \cdot \cos 2\pi f_1 t + b \sum_{k=N_n+1}^{N_a} e^{-\frac{(kf_1 - f_{0a})^2}{2\delta f_a^2}} \cdot \cos 2\pi f_1 t \quad (3)$$

Возможные варианты наличия высокочастотных (выше 4 кГц) энергетически значимых частей спектра певческого голоса мы моделируем двумя шумовыми компонентами с перекрывающимися, в общем случае, спектрами колокольной формы (см. рис.9) так, что общая спектральная картина может иметь вид, показанный на рис.10.

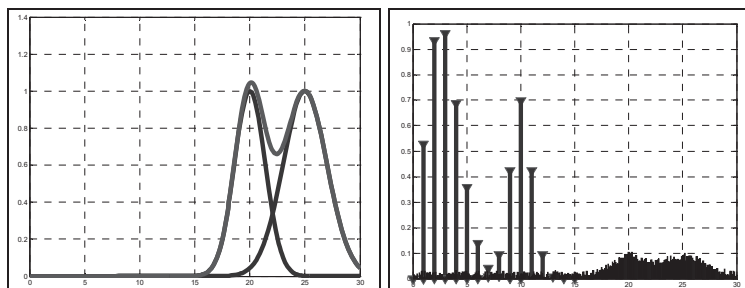


Рис.9 Рис.10

Степень перекрытия этих призвуковых компонент можно характеризовать коэффициентом

$$\gamma = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} [G_1(f) \cdot G_2(f)]^{\frac{1}{2}} df}{\left( \frac{1}{2} \cdot \left[ \int_{-\infty}^{\infty} G_1(f) df + \int_{-\infty}^{\infty} G_2(f) df \right] \right)} \quad (4)$$

что для колокольных спектров приводит к выражению

$$\gamma = \frac{2 \cdot \sqrt{2 g_1 \cdot g_2}}{(g_1 \cdot \delta f_1 + g_2 \cdot \delta f_2)} \cdot \sqrt{\frac{\delta f_1^2 \cdot \delta f_2^2}{(\delta f_1 + \delta f_2)}} \cdot \exp \left\{ -\frac{(f_1 - f_2)}{2(\delta f_1 + \delta f_2)} \right\} \quad (5)$$

где  $g_1$  и  $g_2$  – коэффициенты, определяющие высоту колокольных компонент;  $f_1, f_2$  – их местоположение, и  $\delta f_1, \delta f_2$  – коэффициенты, определяющие их ширину по оси частот.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшие исследования должны содержать формирование звуков в соответствии с предложенной моделью при различных ее параметрах, и оценку тембрового слухового впечатления от предложенного звука с подбором словесного определения тембра, наиболее подходящего к ощущаемому впечатлению. Разумеется, такая работа должна выполняться с участием профессиональных певцов и вокальных педагогов.

Автор выражает благодарность студентке НТУУ «КПИ» О.А. Тарасовой за участие в обработке экспериментальных данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ирина Алдошина, Основы психоакустики (подборка статей с сайта <http://www.625-net.ru>), pdf-формат. – 154 с.
2. Г.Гельмгольц, Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для теории музыки. – С.-Пб.: «Общественная польза», 1875. – 594 с.
3. Л.А.Кузнецов, Акустика музыкальных инструментов. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 368 с.
4. А.Б.Ананьев, Элементы музыкальной акустики. – Киев, «Феникс», 2008. – 224 с.