ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

А. В. Рабинович, Москва

1. Общие замечания

Музыкальные достоинства певческого голоса определяются, очевидно, музыкально-эстетическими требованиями, общими для всех музыкальных инструментов. Эти требования в основном суть следующие: красота тембра, большой частотный диапазон, большой динамический диапазон, одинаковая мощность для всей исполняемой полосы частот, музыкальная подвижность (способность исполнять любые быстрые и сложные мелодические фигуры) и др. Для некоторой группы музыкальных инструментов, включающей певческий голос, существует дополнительное требование, относящееся к так называемым вибрациям. Под вибрацией подразумевается периодическое изменение частоты, силы и обертонной структуры звука. Вибрации певческого голоса являются его неотъемлемым элементом, органически связанным со всем процессом звукообразования, тогда как вибрации остальных, входящих в упомянутую группу музыкальных инструментов, а именно: скрипки, альта, виолончели, контрабаса и, частично, саксофона создаются музыкантом в процессе исполнения произвольно, очевидно, в подражание певческому голосу.

Как известно, не все человеческие голоса могут быть использованы в качестве певческих; необходимы некоторые природные данные, обеспечивающие при развитии путем соответствующей тренировки удовлетворение перечисленных выше требований. Определение этих данных, определение методов тренировки и получаемых результатов — все это дело вокальной педагогики. Общеизвестно, однако, что в области вокальной педагогики до сих пор нет или почти нет твердо установленных положений, строго проверенных методов и рабочих гипотез, основанных на более или менее объективном материале. Существует огромное количество противоречащих друг другу вокально-педагогических теорий.

Одной из существенных причин указанных недостатков вокальной педагогики является отсутствие знаний, относящихся к физической природе певческого голоса. Лишь относительно недавно физики при участии передовых вокалистов-педагогов занялись изучением физических проблем, причем к настоящему времени накопилось уже достаточное количество экспериментального, теоретически систематизированного материала.

Необходимо отметить, что в этом деле исследователи были неизменно далеки от мысли заранее установить, какие именно физические характеристики должен иметь певческий голос, чтобы он хорошо звучал, либо объяснить, почему те или иные характеристики хороши. Идея, положенная в основу экспериментов, несравненно проще: надо взять большое количество безусловно хороших и безусловно плохих певческих голосов и статистически определить различие в физических характеристиках первой и второй категорий; надо затем установить связь физических характеристик с анатомией и физиологией голосового аппарата и проследить изменение этих характеристик в процессе тренировки и развития певца.

Использование полученных знаний возможно не только по линии вокальной педагогики, но и по линии радио и звукового кино, где допуски

в конструировании студий и аппаратуры тесно связаны с физическими характеристиками воспроизводимого музыкального материала.

Настоящая обзорная статья составлена в основном по материалам двух недавно появившихся работ: Бартоломью[1] и Вольфа, Стенлея и Сетте[2]

2. Мощность голоса

Большая мощность певческого голоса не является необходимым условием его хорошего качества. Известны знаменитые певцы, обладавшие относительно тихим голосом. Однако в большинстве случаев певцы с хорошо поставленным голосом дают бо́льшую мощность, чем плохие певцы. На этот факт указывает Бартоломью, не подтверждая его впрочем экспериментально. По его мнению увеличение мощности достигается благодаря относительно широкому горлу, благодаря более интенсивному действию голосовых связок и благодаря большему натяжению мягких стенок резонансных полостей. Вольф, Стенлей и Сетте приводят несколько примеров, из которых видно, что в процессе тренировки мощность голоса увеличивается: после курса учебы певцы достигают мощности, на 10—15 дб превышающей первоначальную.

Значительно более важным фактором, определяющим качество певческого голоса, является его относительная мощность для всего исполняемого диапазона частот. Можно предположить, как уже говорилось выше, что хороший певец должен иметь возможность спеть с одинаковой силой любой потребный тон. Мы знаем, однако, из практики, что даже лучшие певцы очень тихо исполняют самые низкие тоны своего регистра и не в состоянии ослабить очень громко звучащие, крайние высокие тоны.

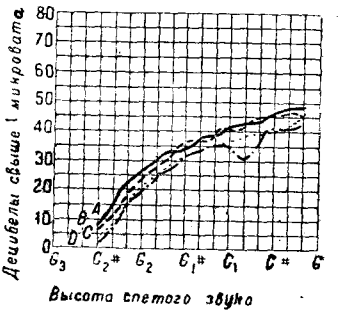

Рис. 1. *A* — гласная „а", *B* — гласная „э", *C* — гласная „у", *D* — гласная „и".

Многочисленные опыты Вольфа, Стенлея и Сетте подтверждают этот факт и устанавливают свойственную хорошим певцам закономерность увеличения мощности звука с увеличением его частоты. На рис. 1 приведены

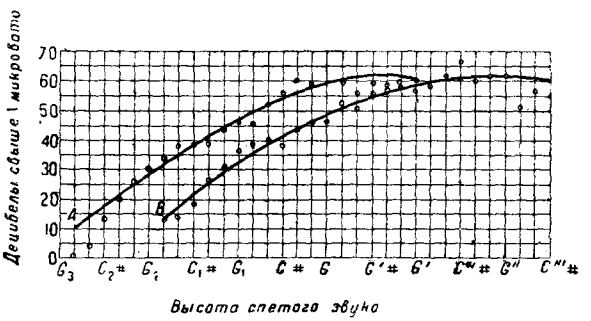

Рис. 2.

кривые, дающие зависимость максимальной излучаемой мощности от частоты (среднее для 5 хороших баритонов). Как видно из рисунка, все четыре кривые весьма сходны по характеру.

На рис. 2 приведены „относительные" кривые (на гласной „а") *A* — для всех типов мужских голосов (за исключением баса) и *B* — для всех типов женских голосов. Точки, через которые проведены кривые, соответствуют

максимальным мощностям, полученным для данного тона каким-либо из исследованных голосов.

Относительные кривые служат для сравнения голосов по разбираемому в настоящем разделе признаку. Отметим, кстати, что максимальная мощность певческого голоса в высоком регистре высоких мужских и женских голосов равна приблизительно 1 W. Это значительно больше указанных предшествующими исследователями цифр.

3. Вибрации

Одной из основных характеристик хорошего певческого голоса является наличие значительных вибраций. Частота вибраций у хорошего певца

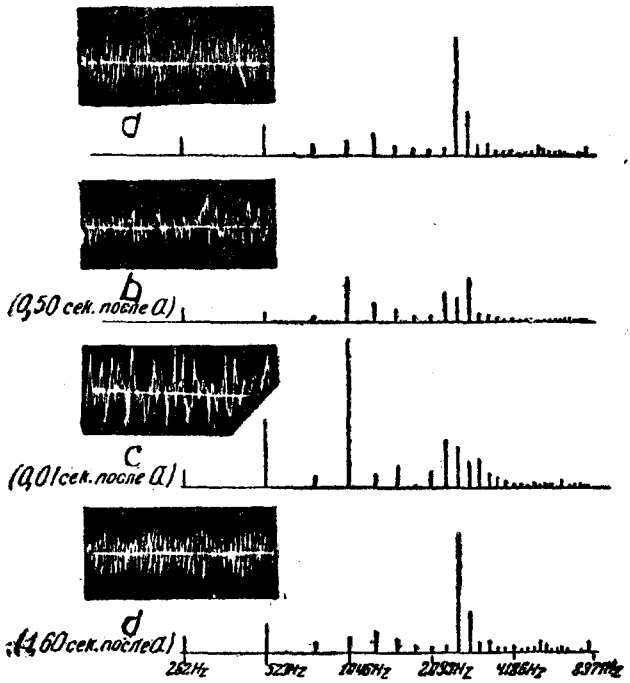

Рис. 3. Тембровые спектры, полученные в четыре последовательных момента времени (баритон хорошего качества, гласная „а" основной тон 262 Hz—„до" первой октавы).

почти неизменна. По исследованию Бартоломью они происходят 6—7 раз в секунду, по исследованиям Вольфа, Стенлея и Сетте — около 6 раз в секунду. Интересно сопоставить эти цифры с частотою вибраций при игре на скрипке, где имеем среднюю цифру 6,7 раза в секунду[3].

Изменения тембра при вибрации по наблюдениям Бартоломью заключаются в периодическом усилении обертонов то в более высокой, то в более низкой области частот. Рис. 3 хорошо поясняет сказанное.

Наличие и большое значение тембровых вибраций в певческом голосе было установлено уже сравнительно давно: Казанский и Ржевкин[4] при-

максимальным мощностям, полученным для данного тона каким-либо из исследованных голосов.

Относительные кривые служат для сравнения голосов по разбираемому в настоящем разделе признаку. Отметим, кстати, что максимальная мощность певческого голоса в высоком регистре высоких мужских и женских голосов равна приблизительно 1 W. Это значительно больше указанных предшествующими исследователями цифр.

3. Вибрации

Одной из основных характеристик хорошего певческого голоса является наличие значительных вибраций. Частота вибраций у хорошего певца

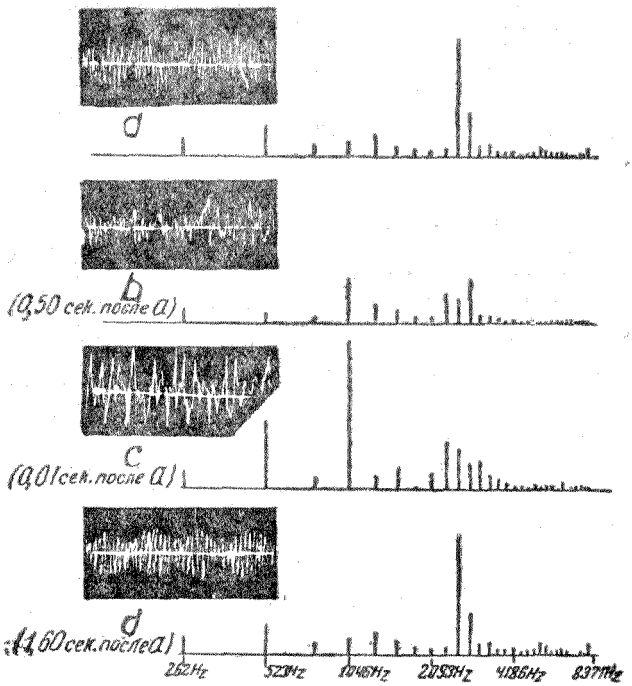

Рис. 3. Тембровые спектры, полученные в четыре последовательных момента времени (баритон хорошего качества, гласная „а" основной тон 262 Hz—„до" первой октавы).

почти неизменна. По исследованию Бартоломью они происходят 6—7 раз в секунду, по исследованиям Вольфа, Степлея и Сетте — около 6 раз в секунду. Интересно сопоставить эти цифры с частотою вибраций при игре на скрипке, где имеем среднюю цифру 6,7 раза в секунду[3].

Изменения тембра при вибрации по наблюдениям Бартоломью заключаются в периодическом усилении обертонов то в более высокой, то в более низкой области частот. Рис. 3 хорошо поясняет сказанное.

Наличие и большое значение тембровых вибраций в певческом голосе было установлено уже сравнительно давно: Казанский и Ржевкин[4] при-

водят многочисленные примеры вибраций и устанавливают методику гармонического анализа вибрирующих голосов, затрудненного наличием негармонических обертонов.

Плохие певческие голоса не имеют значительных тембровых вибраций, т. е. их тембр остается почти неизменным на значительном участке времени. Для иллюстрации приведем четыре осциллограммы (Бартоломью), пропетые хорошим (*a* и *b*) и плохим (*c* и *d*) певцом (рис. 4). Между осциллограммами *a* и *b*, а также между осциллограммами *c* и *d* взят промежуток времени в $^1/_{13}$ сек., т. е. около полупериода одной вибрации. Как мы видим, у хорошего голоса за это время произошли значительные изменения тембра и амплитуды, у плохого же и то и другое осталось почти неизменным.

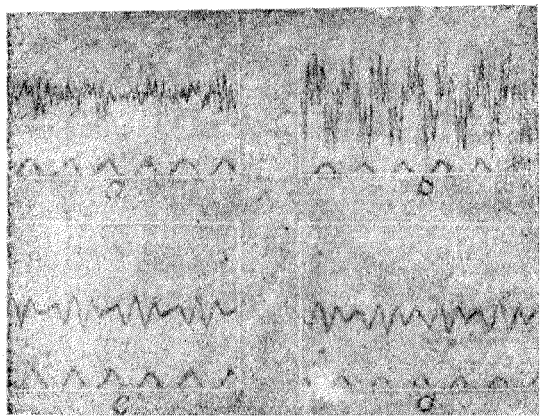

Рис. 4.

Изменение амплитуды при вибрациях изучены Вольфом, Стенлеем и Сетте при помощи автоматического прибора, записывающего уровень силы звука.

На основании этих записей можно установить, что изменение амплитуды при вибрации у хороших певцов происходит плавно, в среднем на 4—5 дб; в отдельных случаях исполнения „фортиссимо" (очень громко) доходит до 12—15 дб; при пении „пианиссимо (очень тихо) амплитудные вибрации становятся очень малы.

У плохих певцов изменение амплитуды происходит скачкообразно, и частота вибрации отклоняется от нормы, доходя до 8 раз в секунду.

Изменения частоты при вибрации в разбираемых работах, равно как и в остальных известных нам, недостаточно изучены. Вольф, Стенлей и Сетте применили для этой цели акустический спектрометр, при помощи которого можно было, конечно, определить только затронутую вибрацией полосу частот, но не характер изменения частоты. Для определения последнего удобно воспользоваться осциллографом по методу, примененному автором настоящей статьи при расшифровке вибраций скрипки[3]. Вольф, Стенлей и Сетте смогли лишь установить, что у хороших певцов частотная вибрация затрагивает значительно более широкую полосу, чем у плохих.

4. Тембр

Казанский и Ржевкин в уже цитированной нами работе установили различие в характере формант между певческим и разговорным голосом, которое сводится к двум положениям: 1) певческий голос характеризуется

в области формант резким усилением одного только обертона и весьма незначительным усилением соседних, тогда как в разговорном голосе в области формант усилена целая группа близлежащих обертонов (рис. 5); 2) усиление обертона нижней форманты для всех гласных происходит в области около 500 Hz; таким образом различие гласных в певческом голосе выражено менее резко, чем в разговорном. Последнее явление подтвер-

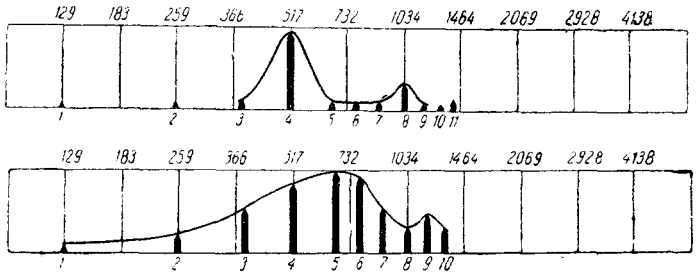

Рис. 5. Сверху — спектр звука типичного певческого голоса, снизу спектр того же звука (гласная „а", 129 Hz), пропетого не певцом.

дилось и в исследованиях Бартоломью. Неизменность сильного резонанса в области около 500 Hz для хороших певческих голосов любого тембра и при любых гласных установлена на большем числе наблюдений. Этот резонанс по мнению Бартоломью происходит в глотке, которая при пении расширяется вследствие растяжения стенок и понижения гортани.

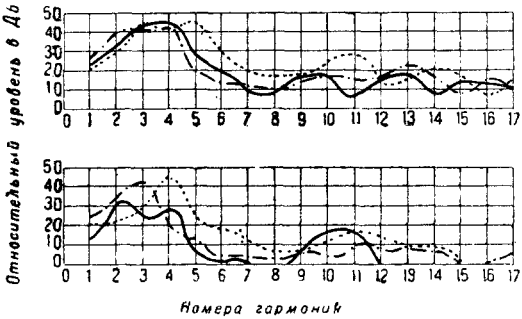

Рис. 6. Гласная „а", 262 Hz. Снизу — носовой оттенок тембра. —·—·—·— закрытый звук, ——— нормальный звук, ---------- открытый звук.

Вольф, Стенлей и Сетте не обнаружили столь узко ограниченной области резонансного усиления. Их гармонические анализы (рис. 6) указывают на значительное усиление нескольких (2—3) гармоник в области от 500 до 1000 Hz. Положение этой форманты определяет оттенки тембра: понижение характерно для закрытого звука, повышение — для открытого или „белого" звука. При „носовом" оттенке тембра резонансные пики более остры.

Кроме нижней форманты Бартоломью установил также существование верхней форманты в области 2800—2900 Hz для мужского голоса и 3200 Hz — для женского. Эта форманта еще более характерна для певческого голоса, чем нижняя. К такому же заключению пришли Вольф, Стенлей и Сетте, причем указанная ими область несколько шире — от 2000 до 3300 Hz (эта форманта хорошо видна на рис. 6).

Верхняя форманта, как и нижняя, остается неизменной при изменении высоты основного тона, изменении тембра и типа голоса, либо изменении исполняемой гласной. Табл. 1 и 2 дают представление об опытах, проделанных Бартоломью в этом направлении.

Исключением являются высокие женские голоса, главным образом колоратурное сопрано, тембр которых значительно проще, чем тембр муж-

ских и низких женских голосов; высокая форманта очень слабо выражена. При пении фальцетом высокая форманта отсутствует совершенно.

Высокая форманта может быть обнаружена как в плохом, так и в хорошем голосе; однако чем лучше голос, тем сильнее резонансное усиление в этой области. Влияние высокой форманты на качество певческого голоса огромно. Именно она придает голосу характерный блеск, округлость, металличность.

Постоянство частоты высокой форманты дает основание предположить, что появление ее вызвано резонансом какой-либо полости, объем которой остается при всех условиях неизменным. Бартоломью предполагает, что таковою может явиться только полость гортани, так как трудно предположить, чтобы узкие и более или менее мягкостенные носовые резонаторы могли вызвать такой высокий и острый резонанс. В связи с этим Бартоломью приводит теорию голосообразования Эйлера и Виллиса. Голосовые связки резко раскрываются и тотчас же снова смыкаются, пребывая раскрытыми только в течение небольшой доли каждого периода основного тона голоса. Возникающая при размыкании связок волна распространяется до верхнего складчатого края, образованного гортанью и надгортанным хрящом, и, отражаясь от него, снова возвращается к голосовым связкам, которые к этому времени уже успевают сомкнуться. Таким образом при каждом раскрытии голосовых связок возбуждаются собственные затухающие колебания полости, заключенной между упомянутым складчатым краем и сомкнутыми голосовыми связками. Для иллюстрации сказанного приводим серию затухающих колебаний (рис. 7), полученную при продувании воздуха через свежевырезанную гортань осла. Основной тон определяется количеством циклов в 1 сек., высокая форманта — частотою затухающих колебаний. Последняя, следовательно, является функцией размеров гортани.

Таблица 1

Баритон, гласная „а"

Частота в Hz		Номер усиленной гармоники
основного тона	высокой форманты	
110	2750	25
131	3008	23
156	3190	20—21
185	3052	16—17
220	2860	13
262	2878	11
311	2800	8—10
370	2590	7
Среднее	2891	

Таблица 2

Тенор, гласная „о"

Частота в Hz		Номер усиленной гармоники
основного тона	высокой форманты	
131	2812	21—22
156	2801	18
185	2960	16
220	2860	13
262	2878	11
311	3111	10
370	3145	8— 9
466	2797	6
Среднее	2921	

В разговорном голосе или у плохих певцов складчатый край недостаточно напряжен, и голосовые связки смыкаются недостаточно быстро. Поэтому гортанный резонанс ослабляется, и высокая форманта становится менее ярко выраженной.

Как уже было сказано выше, тембр при вибрациях периодически изменяется. Следовательно, обе форманты периодически изменяют свое положение, в течение большей части периода вибрации оставаясь, однако, указанных нами частотных областях.

5. Заключение

Итак, мы видим, что во многих вопросах, касающихся физических характеристик певческого голоса, достигнута значительная ясность и совпадение результатов, полученных в различное время различными исследователями и при помощи различных методов. Отдельные расхождения говорят лишь о том, что требуется более детальная проработка того или иного вопроса. Так обстоит, например, дело с определением частотной области низкой форманты.

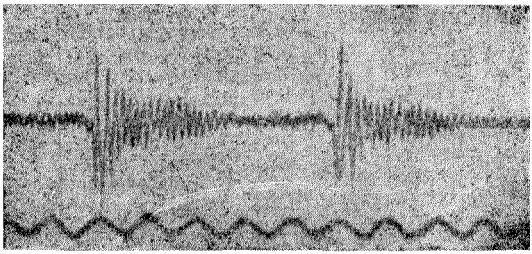

Рис. 7.

Каким же представляется с физической точки зрения хороший певческий голос? Резюмируем вкратце: голос достаточной мощности с плавным увеличением последней по мере повышения высоты тона; голос, обладающий значительной вибрацией около 6 раз в секунду, особенно усиливающейся при громком пении; голос с двумя ярко выраженными формантами в областях около 500 и около 3000 Hz.

Вполне понятно, что существуют еще другие, чисто музыкальные достоинства певческого голоса, которые не поддаются физическому анализу.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. Bartolomew, J. Ac. Soc. Am. 4, 25, 1934.
2. S. Wolf, D. Stanley a. W. Sette, J. Ac. Soc. Am. 4. 255, 1935.
3. А. В. Рабинович, „Осциллографический метод анализа мелодии", Музгиз, 1932.
4. В. Казанский и С. Ржевкин, Ж. прикл. физики 5, 87, 1928.