АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том II 1956 Вып. 2

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ПЕВЧЕСКОГО ГОЛОСА

С. Н. Ржевкин

В голосе высококвалифицированного певца отмечается наличие резко выраженных «певческих формант» в области около 500 и около 2500 *гц*, одинаковых на всех гласных и во всем диапазоне от нижних до верхних нот. Сравнение с голосом неопытного певца показывает, что в этом последнем случае певческие форманты не являются четко выраженными и стабильными; верхняя форманта, обусловливающая металличность голоса, отсутствует. Высказана гипотеза о быстрой перестройке голоса опытного певца с речевой позиции в начале гласного звука к певческой позиции, характерной для установившейся, длительной, части звука.

Певческий голос как акустический феномен до сего времени чрезвычайно мало и неполно исследован. Первые важные исследования в этой области были проведены В. Д. Зерновым [1], который определил силу звука голоса и закономерность ее изменения с высотой у певцов с различной постановкой голоса (Ф. Шаляпин, Г. Пирогов и др.).

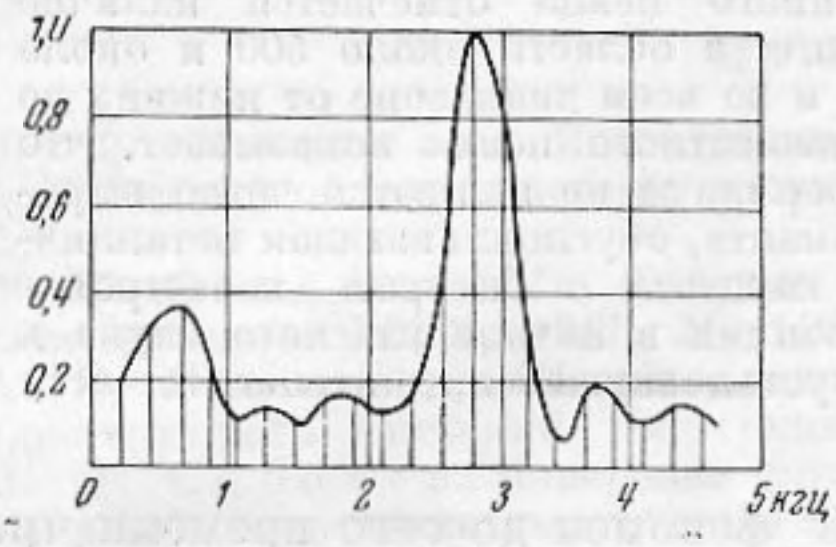
В 1927 г. мною и В. С. Казанским [2] были произведены, при помощи механического осциллографа, записи голоса ряда певцов и обнаружено, что для хорошо поставленных певческих голосов имеется характерная область усиления обертонов (певческая форманта), лежащая около 500 *гц*. Наши данные были затем подтверждены в работах Бартоломью [3], а также Вольфа, Стенли и Ситте [4]. Бартоломью обнаружил, кроме певческой форманты в районе 500 *гц*, еще вторую певческую форманту в области 2800—3200 *гц*.

Причина недостаточной изученности акустики певческого голоса кроется в том, что в этой области проводятся лишь отдельные, случайные работы и не ведется систематических исследований. Методы современной акустики применяются в вокальной педагогике, так же как и при изучении певческого голоса в физиологическом и психологическом аспекте, совершенно недостаточно. Обзор работ по изучению певческого голоса последних лет приведен Хаттоном и Беллом [5]. Теории певческого голоса до сего времени не существует. Чтобы создать теорию голоса, необходимо связать анатомо-физиологические характеристики голосового аппарата с получающимся акустическим эффектом. Глубокое акустико-физиологическое исследование певческого голоса является задачей большой сложности и объема. В данной статье мы попытались осветить лишь небольшой круг вопросов, связанных с анализом звука певческого голоса.

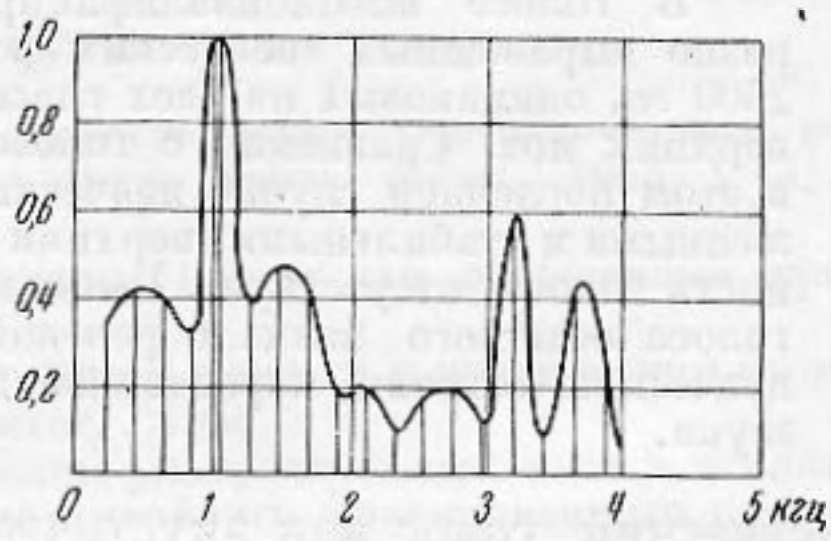
Материал, подвергаемый анализу в данной статье, получен в результате записи звука ряда певцов в одной из студий Московского радиоцентра. Запись кривых, характеризующих звуковое давление, велась посредством шлейфового осциллографа. Применялся высококачественный конденсаторный микрофон, что позволило без искажений записать звуки с частотами от 50 до 6000 *гц*. Микрофон располагался на расстоянии около 2 *м* от певца. Записи производились за короткий промежуток времени около 0,1 *сек*, выбиравшийся в момент, когда звук голоса вполне устанавливался. Кривые большинства звуков претерпевают некоторые изменения с течением времени, их амплитуда то увеличивается, то уменьшается, что является, результатом «вибрато».

В данной статье приводятся в основном подробные данные анализа записей лишь одного певческого голоса — баса Д., выдающегося певца с весьма красивым тембром голоса, с диапазоном от sol — 94 *гц* до sol_2 — 386 *гц* (проведено 47 записей). Для сравнения приводятся некоторые данные для неопытного певца Р. (6 записей), голос которого хотя довольно сильный, но имел провал звучности на высоких нотах (выше re_2 — 288 *гц*).

Анализ произведенных записей осуществлялся путем увеличения одного периода кривой через эпидиаскоп до амплитуды 8—15 *см* и разложения на гармоники при помощи механического анализатора системы Мадера; этот аппарат позволяет произвести анализ до 25-й гармоники. Был произведен анализ далеко не всех полученных записей ввиду трудо-



Фиг. 1. Бас Д., la —217 *гц*, гласная a^n, forte



Фиг. 2. Баритон Р., la—217 *гц*, гласная *a*, forte

емкости этой работы. Наиболее интересные записи подвергались исследованию в нескольких местах, поскольку характер кривой зачастую резко менялся и было существенно исследовать спектр в различные моменты звучания. Такие повторные анализы, несмотря на различие в форме кривой, как правило, давали сходные результаты. Наибольшее число анализов кривых (49) произведено для голоса баса Д., для баритона Р. проведено 7 анализов.

На фиг. 1 и 2 приведены два спектра звуков различных певческих голосов для гласной *a* при частоте 217 *гц* (la_1). Графики по ординатам построены в относительном масштабе; за единицу везде принималась амплитуда наибольшей гармоники. По вершинам ординат на спектрах проведены огибающие кривые. Максимумы огибающих кривых определяют положение формантных областей, характеризующих резонансные частоты связанной системы, состоящей из полостей глотки и рта.

В голосе баса Д. (фиг. 1) наблюдается усиление гармоник в области около 500 *гц* и около 2800 *гц*; в спектре голоса баритона Р. имеется наибольшее усиление в области 1100 *гц* и ряд вторичных максимумов в области 500, 1600, 3400 и 3700 *гц*. Разница в характере спектров весьма значительная.

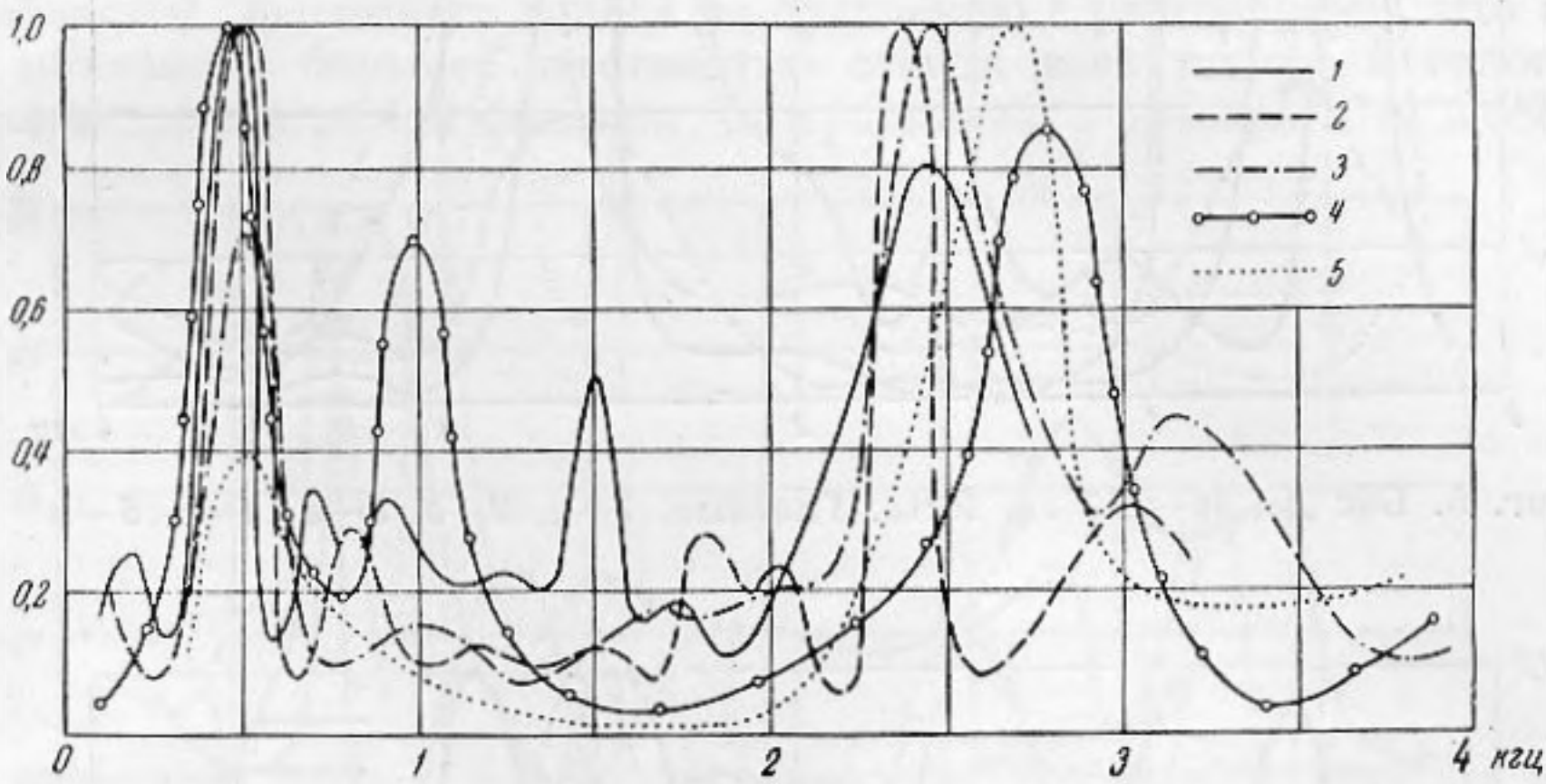
Приведенные ниже на графиках сводные данные представляют лишь часть полученного нами материала; из числа всех полученных спектров сделан выбор типичных и наиболее характерных. Однако общие выводы, приводимые ниже, основываются на всем полученном материале. Существенных отклонений от приведенных данных не наблюдалось.

Результаты анализа мужского певческого голоса иллюстрированы графиками (фиг. 3—8), на которых нанесено сразу несколько спектров, и могут быть кратко формулированы следующим образом:

1. В звуке высококачественного певческого голоса (мужского) наблюдается резкое усиление обертонов в узкой полосе высоких частот, шириной около 1 тона (фиг. 3 для гласной *a*, фиг. 4—7 для разных гласных). Центр этой полосы лежит в интервале 2500—3000 *гц* ($re_4^{\#}$ — sol_4). Эту характерную область усиления обертонов целесообразно называть верхней певческой формантой.

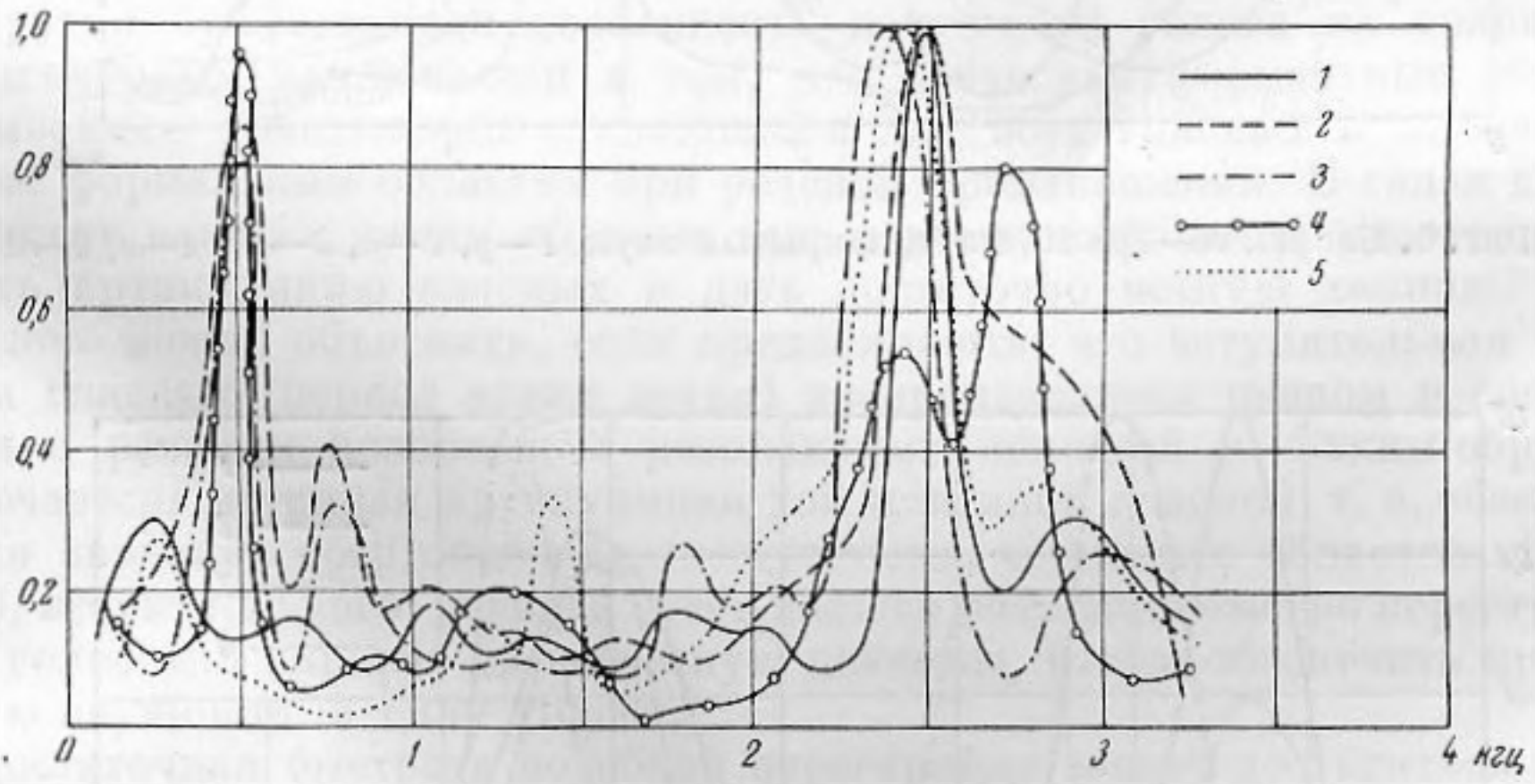
2. Кроме верхней формантной области в большинстве звуков хорошего певческого голоса наблюдается низкая формантная область (фиг. 3 для

гласной *а*, фиг. 4—7 для разных гласных), центр которой лежит между 400 и 600 *гц* (sol_1 — re_2). Эта область имеет несколько большую ширину, чем верхняя (2—3 тона). В звуках гласных *у* и *и*, имеющих низкую речевую форманту, нижняя певческая форманта иногда понижается до 250—400 *гц*. На предельной верхней ноте (fa# — 345 *гц*, фиг. 7) положение нижней формантной области нестабильно.



Фиг. 3. Бас Д., гласная *а*, forte. *1*: sol—94 *гц*, *2*:do—129 *гц*, *3*: la—169 *гц*, *4*: do—259 *гц*, *5*: re —288 *гц*.

3. Положение певческих формантных областей на всех высотах одинаково для всех гласных (фиг. 4—7) и не соответствует формантным областям гласных в речевом произношении. Речевые формантные области значительно шире, чем певческие, и расположены иначе.

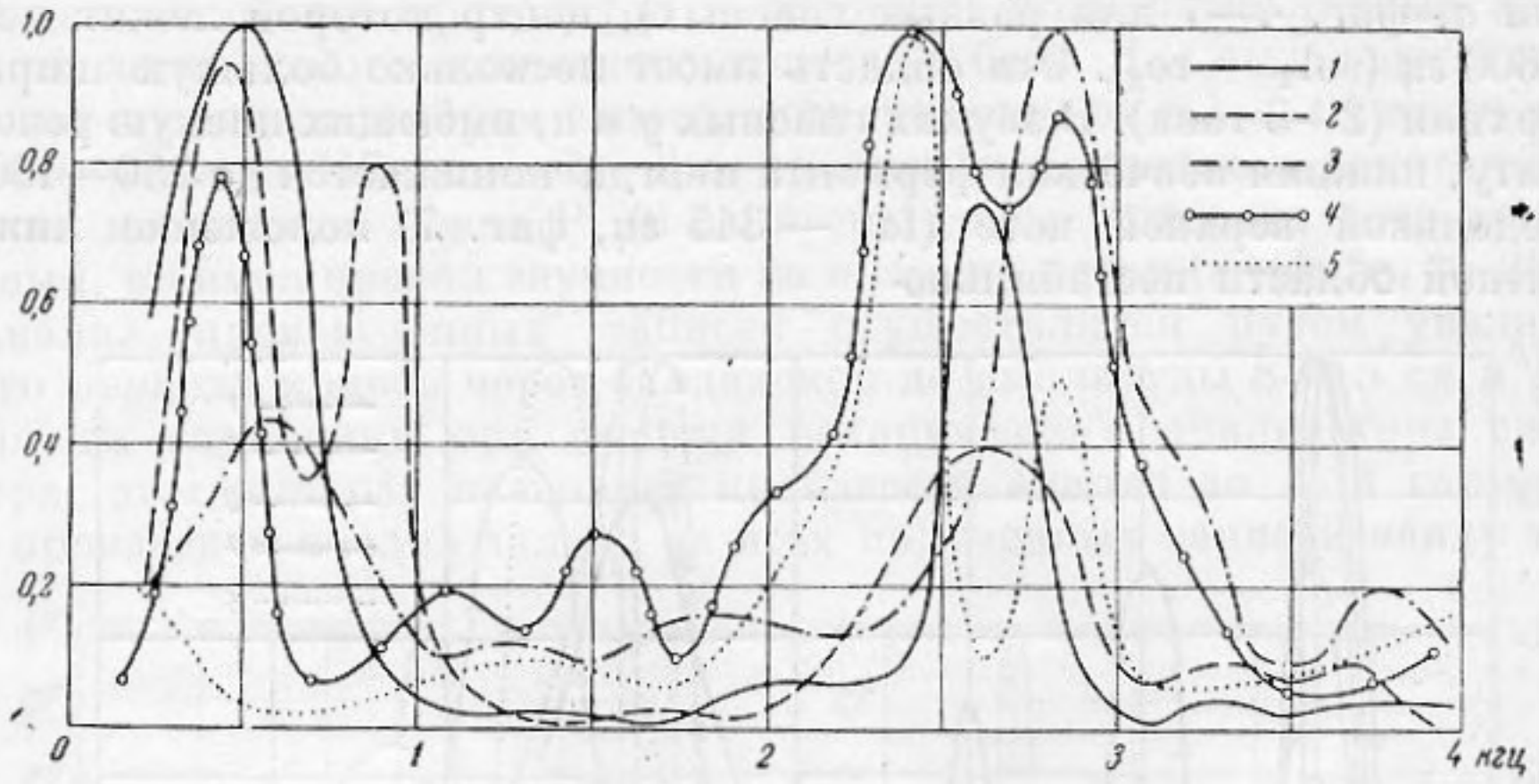


Фиг. 4. Бас Д., do—129 *гц*, forte. Гласные: *1—у*, *2—о*, *3—а*, *4—е*, *5—и*

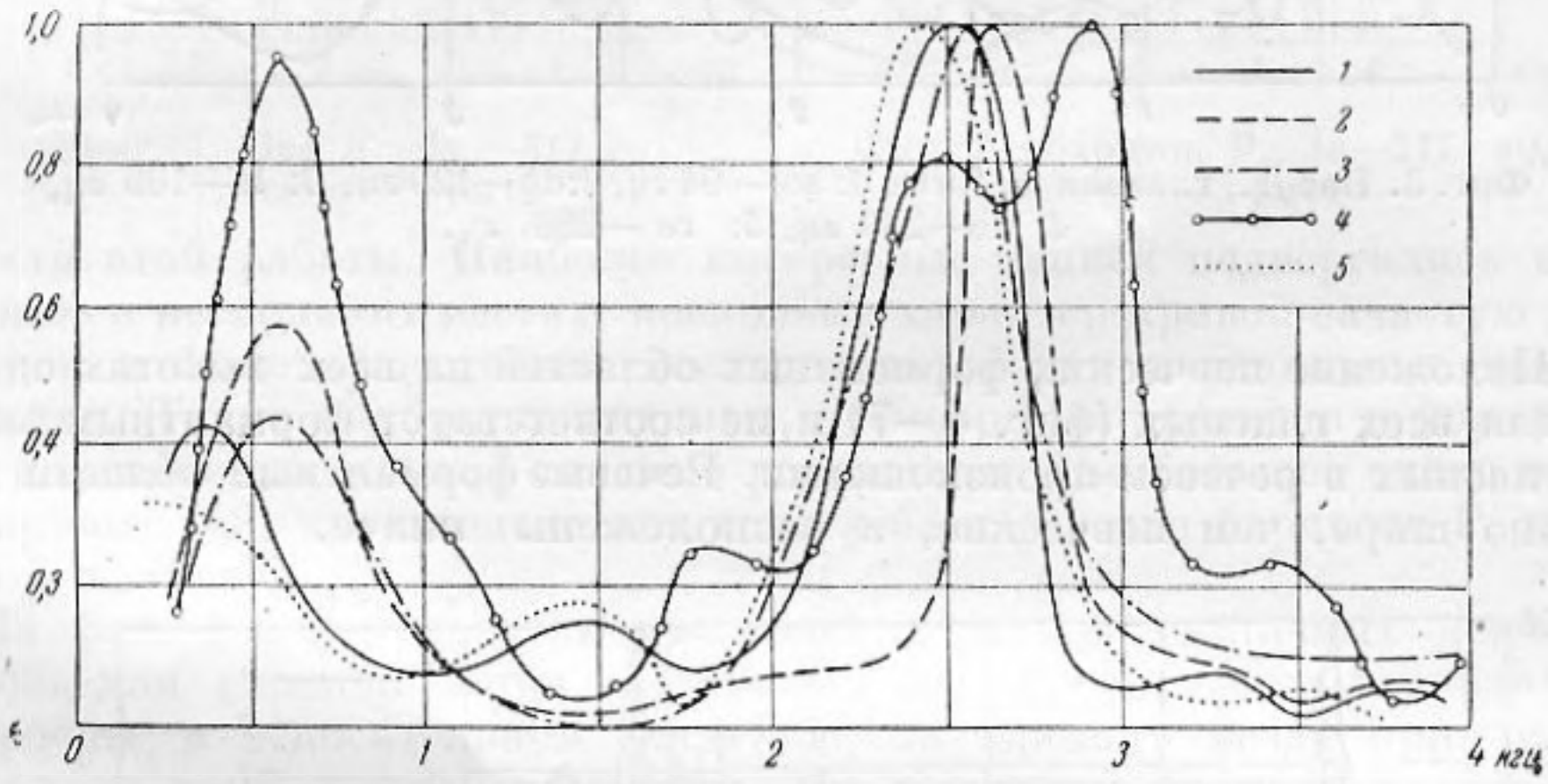
4. Амплитуда гармоник звукового давления в верхней певческой формантной области для гласной *и* всегда больше, чем в нижней (превышение в 2—10 раз). Наоборот, для гласной *у* очень часто сильнее гармоники в области нижней форманты, хотя иногда наблюдается и обратное. Для гласных *о*, *а* и *е* амплитуды гармоник в обеих областях приблизительно одинаковы.

5. Основной тон в певческом звуке на forte всегда слабее, чем высшие гармоники. Исключение представляет в редких случаях гласная *у*.

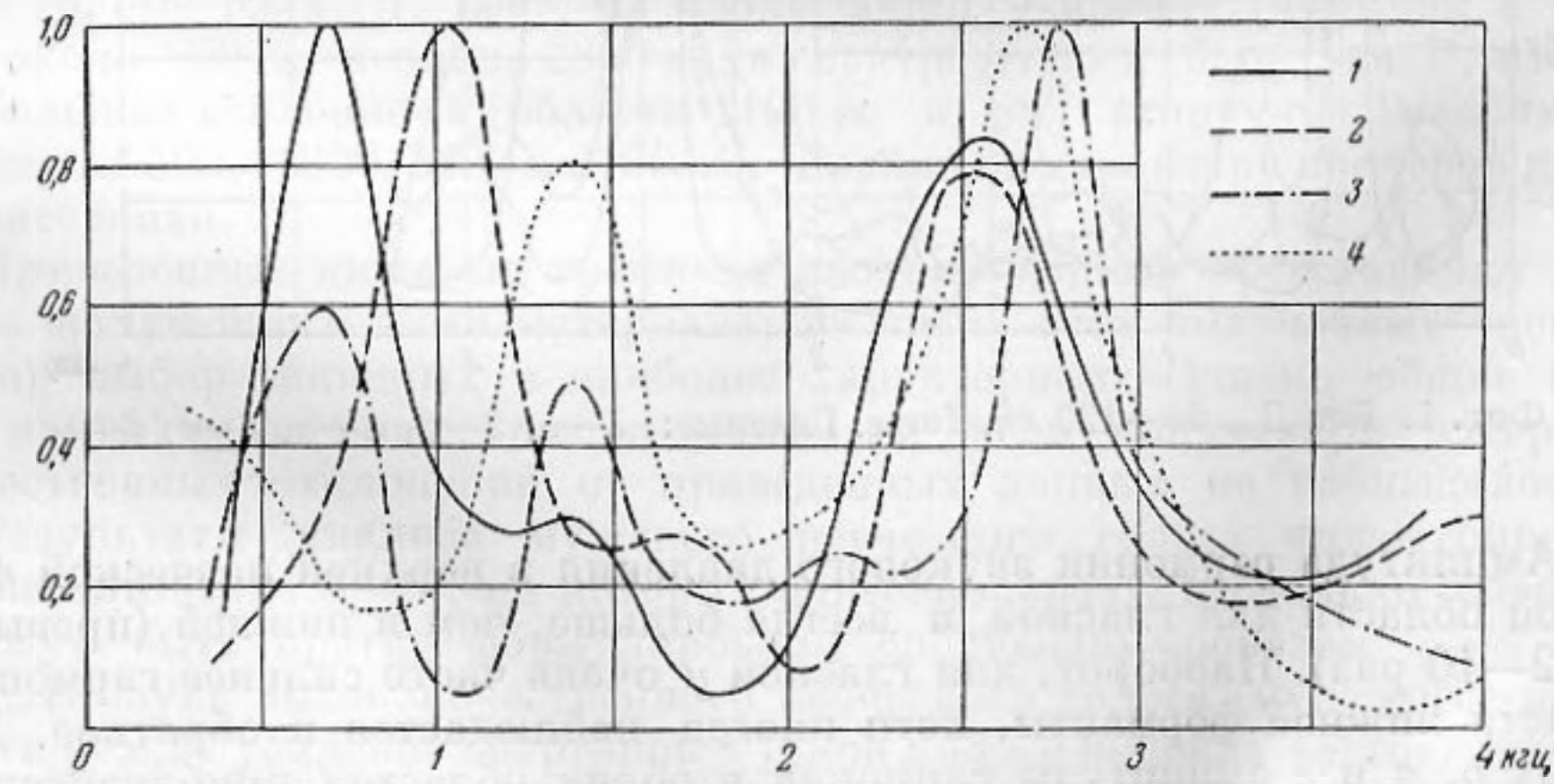
6. Исследование звуков, пропетых piano, не показало существенной разницы в спектрах по сравнению с forte.



Фиг. 5. Бас Д., la—217 *гц*, forte. Гласные: *1—у*, *2—о*, *3—а*, *4—е*, *5—и*



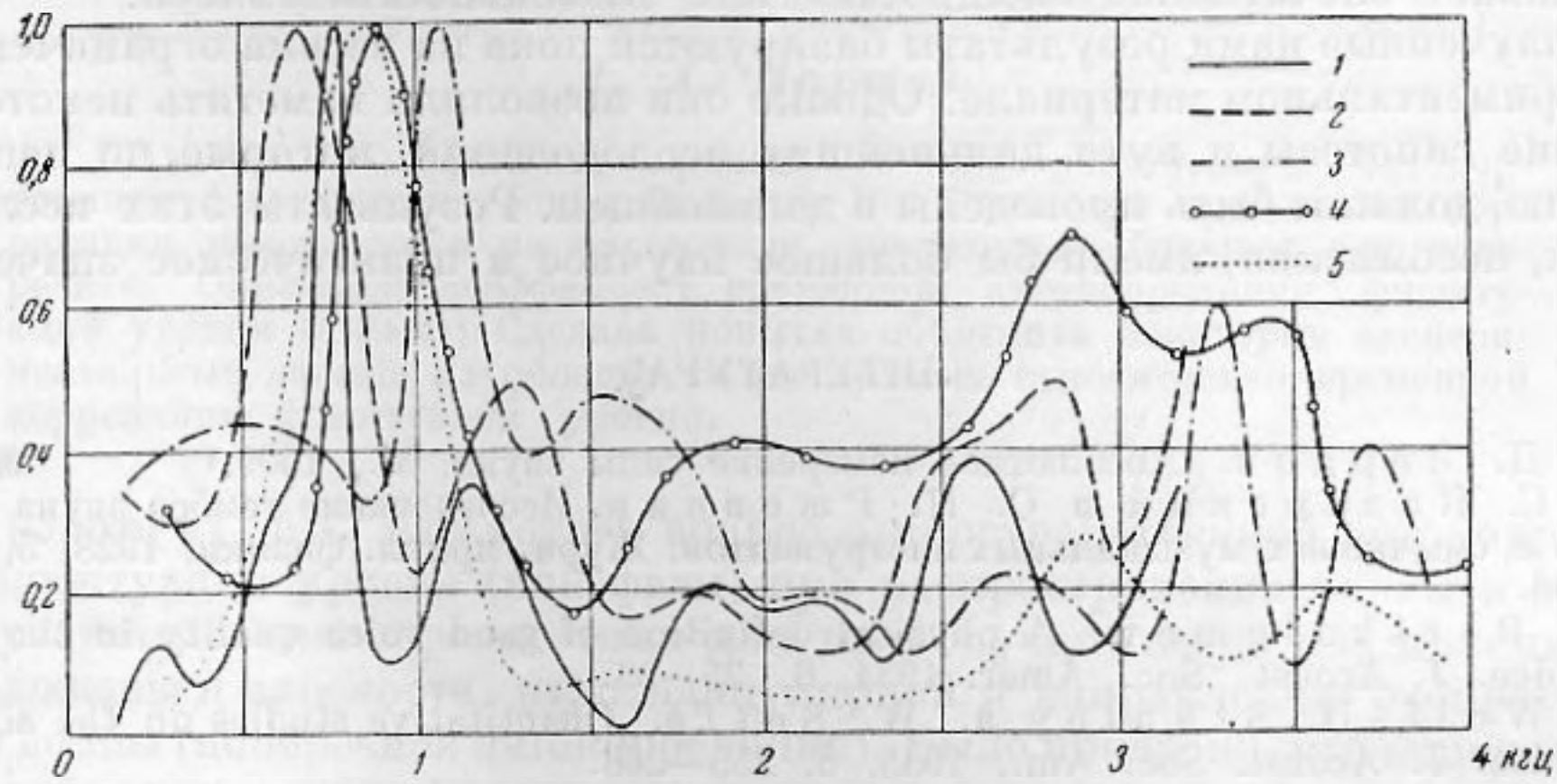
Фиг. 6. Бас Д., re—288 *гц*, forte, закрытый звук. *1—у*, *2—о*, *3—а*^{у}, *4—е*, *5—и*



Фиг. 7. Бас Д., fa—345 *гц*, forte. закрытый звук. *1—о*, *2—а*^{у}, *3—е*, *4—и*

7. Исследование голоса неквалифицированного певца (баритон Р.) с резким тембром показало, что нижняя форманта в звуке разных гласных меняется от 600 до 900 *цг* (фиг. 8). Четко выраженной верхней формантной области не обнаруживается; замечается лишь некоторое общее усиление гармоник в области от 2500 до 3500 *гц*.

Из полученных нами результатов выявляется малая ширина формантных областей певческого голоса по сравнению с разговорным. Это может быть объяснено большей жесткостью стенок всех полостей голосового аппарата при певческой фонации, по сравнению с речевой. Эта жесткость



Фиг. 8. Баритон Р., гласная *а*, forte. *1*: do—129 *гц*, *2*: mi—167 *гц*, *3*: la—217 *гц*, *4*: re —288 *гц* *5*: mi—325 *гц*

вызвана, повидимому, напряжением мускулатуры гортани, глотки и полости рта и делает настройку резонансных полостей более острой.

Другая существенная особенность певческого голоса по сравнению с разговорным заключается в том, что певческие формантные области оказываются практически одинаковыми для всех гласных и не соответствуют формантным областям при речевом произношении. В связи с этим возникает вопрос: каким образом при певческой фонации удается обеспечить артикуляцию гласных и дать достаточно четкую дикцию? Этот парадокс можно объяснить, если предположить, что вступительная часть звука гласных (период атаки звука) воспроизводится певцом в соответствии с речевым положением резонансных полостей и, таким образом, «намечается» истинная артикуляция той или иной гласной, т. е. обеспечивается звучание обертонов в соответственных частотных областях. После этого, вступительного, периода певец должен возможно быстро перестроить весь голосовой аппарат на певческую позицию, чтобы обеспечить необходимую звучность и силу голоса.

Достаточная быстрота подобной перестройки может достигаться лишь при большой тренировке и потому лишь квалифицированные певцы могут обеспечить одновременно и четкую дикцию, и совершенство певческого звука. Начинающие же певцы, показывая хорошее звучание при упражнениях, легко теряют певческое качество звука при исполнении арий или романсов, особенно в быстром темпе.

Намечающийся таким образом вывод о том, что певческий звук (вокал) одинаков по своей физической структуре на всех гласных, имеет весьма важное значение. Он говорит о том, что и физиолого-анатомический механизм певческого голоса также является единым для всех гласных звуков. Это соображение является безусловно существенным для вокальной педагогики. В нашей работе не исследовалась начальная часть звука гласных; доказательство высказанного нами предположения о быстрой перестройке голосового аппарата певцов требует дополнительных исследований.

Наличие сильных обертонов в области верхней певческой форманты (соответствующей области наибольшей чувствительности уха) несомненно обусловливает ту особую яркость тембра хороших певческих голосов, которую часто характеризуют словом «металличность». Поэтому четко выраженную верхнюю певческую форманту следует считать основным и важнейшим признаком правильно поставленного певческого голоса.

Нижняя певческая форманта (лежащая около 500 *гц*), повидимому, играет менее важную роль, чем верхняя. Она соответствует усилению первых гармоник мужского певческого голоса и, вероятнее всего, обусловливает впечатление «мощности» или «массивности» голоса.

Полученные нами результаты базируются пока на весьма ограниченном экспериментальном материале. Однако они позволили наметить некоторые рабочие гипотезы и пути дальнейших исследований которые, по нашему мнению, должны быть проведены в дальнейшем. Результаты этих исследований, несомненно, имели бы большое научное и практическое значение.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Д. Зернов. Абсолютное измерение силы звука. М., 1909.
2. В. С. Казанский и С. Н. Ржевкин. Исследование тембра звука голоса и смычковых музыкальных инструментов. Журн. прикл. физики, 1928, 5, 87—103.
3. W. Bartholomew. A physical definition of good voice quality in the male voice. J. Acoust. Soc. Amer. 1934, 6, 25—33.
4. S. Wolf, D. Stanley a. W. Sette. Quantitative studies on the singing voice. J. Acoust. Soc. Am., 1935, 6, 255—266.
5. Hutton and Bell. Central States Speech Journ., 1954.

Кафедра акустики
Московского государственного университета

Поступила в редакцию
29 января 1956 г.