



## КОМПЬЮТЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТОНАЦИОННОЙ ТОЧНОСТИ ВОКАЛЬНОЙ РЕЧИ

МОРОЗОВ В. П., *Институт психологии РАН, Москва*

В работе приводятся результаты компьютерных исследований звуковысотных характеристик вокальных гласных, точнее – способности вокалистов к воспроизведению голосом заданной высоты звука. Звуковысотные характеристики гласных вокальной речи, т. е. фактически мелодическая структура вокальной речи любого вокального произведения, – наиважнейшее свойство искусства пения. И соответственно, способность к точному интонированию – наиважнейшая музыкально-художественная и вокально-техническая способность певца, как, впрочем, и любого музыканта. Рассматриваются теоретические (психологические) основы разных причин неточности воспроизведения вокалистами мелодической структуры вокальной речи.

**Ключевые слова:** восприятие, воспроизведение звука, вокальная речь, высокочастотные характеристики речи, сенсомоторные механизмы голосообразования.

Вокальная речь – особая форма звуковой речи, известная под термином *искусство пения*. Основной характерной чертой вокальной речи является специфичность ее целевого назначения. Информацию, которую несет речевой сигнал, принято делить на две категории: 1 – семантическую (вербальную), 2 – эмоционально-эстетическую (Моль, 1966), относящуюся к категории невербальной (Морозов, 1998). Если в разговорной речи доминирующей обычно является семантическая информация, то вокальная речь служит, как известно, средством эмоционального воздействия на слушателя, т. е. средством передачи главным образом музыкально-эстетической и эмоциональной информации. «Слово (в пении) – ЧТО, музыка – КАК», – писал К. С. Станиславский (1926, с. 509). Эта особенность вокальной речи как специализированного средства звуковой коммуникации человека лежит в основе многих других ее особенностей.

От обычной разговорной речи вокальная речь резко отличается прежде всего спецификой своего акустического строения: значительно увеличенной мощностью и громкостью, длительностью гласных, особенностью тембра, характерными модуляциями высоты основного тона и рядом других свойств (Морозов, 1977, 2008).

Важно отметить, что многие из указанных акустических параметров вокальной речи не являются произвольными, как в обычной речи, а довольно строго предопределены нотной записью исполняемого вокального произведения: чередование длительности гласных составляет ритм, а изменение высоты основного тона – мелодию вокальной речи. Как известно, в нотной записи даются также указания о громкости звука (*forte*, *piano*, *crescendo*, *diminuendo* и т. д.), что в известной мере предопределяет также и характер изменения силы голоса исполнителя. Перечень акустических отличий вокальной речи от обычной будет не полон, если не упомянуть о таком специфическом свойстве вокальных гласных, как вибрато, отсутствующее в обычной речи, а также о повышенной полноте, или носкости, голоса (*portata de la voce*).

Указанные основные акустические особенности вокальной речи определяют своеобразие ее слухового восприятия. Вокальная речь характеризуется также рядом особенностей физиологических механизмов образования (особый тип дыхания, работы гортани, резонаторов и т. п.).



### О значении звуковысотных характеристик речи и пения

Звуковысотные характеристики гласных, определяющиеся изменением основного тона голоса, относятся к так называемым невербальным особенностям речи и имеют большое значение для восприятия как вокальной речи, так и обычной разговорной и тем более публичной и актерской речи.

Звуковысотные изменения речевого сигнала несут слушателю информацию различного рода. Ими обуславливается интонация предложения – вопрос, восклицание, повествование (Зиндер, 1960; Артемов, 1974), ударение (Светозарова, 1982), смысловое значение слова, что особенно выражено в так называемых тональных языках (японский, индонезийский и др.), эмоциональное отношение говорящего к предмету разговора (Sedlacek, Sychra, 1962; Бондарко и др., 1975; Манеров, 1975; Морозов, 1998).

В процессе обычной разговорной речи частота основного тона изменяется в пределах от 85 до 200 Гц у мужчин и от 160 до 340 Гц у женщин (Мартынов, 1962). Средняя частота основного тона для мужчин составляет 136 Гц, для женщин – 248 Гц, т. е. почти на октаву выше. Дети (до мутационного периода) имеют частоту основного тона голоса приблизительно в женском диапазоне частот.

Огромное значение как средство музыкальной и эмоционально-художественной выразительности имеет основной тон в вокальной речи. Если проанализировать мелодический рисунок вокальных произведений, то легко видеть, что наиболее эмоционально насыщенные мелодии выражаются, как правило, звуками наивысшей высоты и силы. Однако наибольшая эмоциональная выразительность в пении достигается не просто высокими звуками, а изменением высоты основного тона в широких пределах (по мелодическим ступеням). Здесь эмоциональный эффект усиливается по закону звукового контраста. По такому принципу построено подавляющее большинство вокальных произведений, для исполнения которых профессиональный певец должен обладать звуковысотным диапазоном не менее 2 октав, т. е. примерно в 2 раза больше, чем в речи. Звуковысотные диапазоны, характерные для различных типов певческих голосов, приведены в табл. 1.

**Таблица 1.** Звуковысотные диапазоны основных типов певческих голосов

Мужские голоса	В нотном обозначении	В Гц	Женские голоса	В нотном обозначении	В Гц
Бас	Mi-fa'	82–349	Контральго	Mi-fa''	165–698
Баритон	La-sol'	110–392	Меццо-сопрано	La-la''	220–880
Тенор	Do-do''	131–523	Сопрано	Do'-do''	262–1046

Встречаются, однако, певцы, имеющие звуковысотные диапазоны значительно больше установленной нормы, т. е. три и даже четыре октавы (Има Сумак, Мадо Робен и др.). Вместе с тем любой хороший профессиональный певец должен иметь определенный запас звуковысотного диапазона, хотя бы на полтона или тон, чтобы чувствовать себя уверенно при пении предельно высоких нот, указанных в таблице.

Указанные в таблице значения частоты основного тона голоса в герцах справедливы при условии соответствия ноты la первой октавы частоте 440 Гц, принятой в качестве меж-



дународного стандарта. Данное правило, к сожалению, в музыкальной практике нередко нарушается в сторону повышения высоты камертона, что вызывает серьезные трудности пения предельно высоких нот даже у опытных профессиональных певцов (см. Нестеренко, 1985).

### **Проблемы восприятия и воспроизведения высоты звука**

В отличие от обычной речи в искусстве пения звуковысотные характеристики гласных вокальной речи определяются, как известно, нотной записью. Точное воспроизведение звуковысотных характеристик музыкального произведения относится к числу наиважнейших требований, предъявляемых к вокально-исполнительским способностям певца.

Точность воспроизведения певцом заданной высоты звука определяется, во-первых, тем, как он воспринял эту высоту звука (с какой точностью), а во-вторых, насколько точно голосовой аппарат певца воспроизвел то, что он слышал. Первая способность зависит от точности так называемого пассивного музыкального слуха певца, а вторая от развитости его активного, т. е. вокального, слуха, разрешающие возможности которого определяются совершенством сенсомоторных механизмов голосообразования (Морозов, 1965).

Таким образом, успех певца во многом зависит от его музыкальности, т. е. музыкального слуха, который имеет много разновидностей: он может быть активный и пассивный, мелодический и тембровый, относительный и абсолютный. Особого интереса заслуживает абсолютный музыкальный слух, т. е. способность узнавать звуки любой высоты без всякого сравнения их со звуком известной высоты, например, камертона (Островский, 1954). Исследованию абсолютного музыкального слуха посвящено довольно много работ, в результате чего авторы пришли к парадоксальному выводу о неабсолютности музыкального слуха.

Так, еще в работе К. Л. Хилова (1929) было обнаружено, что обладатели абсолютно слуха при задании определить высоту заданного звука нередко ошибаются на полтона, целый тон и даже несколько тонов! Хилов установил, что точность абсолютного музыкального слуха зависит от характера определяемого звука: музыканты значительно точнее определяют высоту звука, имеющего обертоны (автор пользовался гармоникой Урбанчика), чем чистых синусоидальных тонов от звукового генератора. Хиловым также обнаружена зависимость точности абсолютного музыкального слуха от времени между предъявлением звука и его воспроизведением, т. е. от музыкальной памяти.

Н. А. Гарбузов (1948) считает, что путем тренировок точность абсолютного музыкального слуха можно улучшить, но лишь до известного предела – 50 центов, т. е. четверти тона. Что же касается самого термина «абсолютный музыкальный слух», то, по мнению Гарбузова, термин этот не соответствует действительности, а способность, известную в науке под названием «абсолютный слух», он предлагает назвать «зонным слухом».

Точность музыкального слуха можно легко измерить при помощи интонометров. Эти методы и позволили установить неабсолютность абсолютного слуха. Вместе с тем исследователями был обнаружен весьма интересный факт: интонационные неточности, которые допускают даже самые знаменитые певцы и скрипачи-солисты при исполнении произведений, оказались далеко не случайными, а закономерными.

П. П. Барановский и Е. Е. Юцевич (1956), исследовавшие многих музыкантов и певцов, выдвинули интересную концепцию, объясняющую эти неточности интонирования.



По их мнению, дело заключается в несоответствии двенадцатитемперированной системы, по которой записана и проигрывается мелодия на рояле, мелодической и гармонической природе музыкального слуха. Темперация совершенно искусственно и условно делит октаву на математически равные части, в то время как музыкальный слух – на пропорциональные, что соответствует природе ладового чувства и потому является более благозвучным. Эта закономерность и вносит свой вклад в неточность воспроизведения двенадцатитемперированной мелодии. Различия, конечно, невелики, но тем не менее они существенно влияют на эстетические качества звучания мелодии.

Вот мнение на этот счет профессора Петроградской консерватории Л. Г. Немировского: «В инструментах, не связанных фиксированным строем, а также в вокальной области, помимо сознательного применения чистого строя для устранения диссонирующих комбинационных тонов, само естественное слуховое чутье побуждает к выбору чистых интервалов вместо пифагоровых и темперированных; последнее подтверждается специальными записями, произведенными с интонацией скрипачей и виолончелистов. То же пользование чистым строем наблюдается в пении а capella, при совместной игре духовых инструментов и в смычковом ансамбле.

В современном состоянии музыки, вследствие доминирующего положения фортепиано, поколения вырастают, часто не слыша другого строя, кроме темперированного. Тем не менее вряд ли приходится говорить о глухнущей способности воспринимать чистый строй и замечать его отличия от темперированного.

Гармонии в чистом строе звучат прозрачнее, будучи свободны от резкости и шероховатости, неизбежных спутников отклонения от натуральных гармоний, разница между консонансами и диссонансами более контрастирующая, и модуляции яснее и ярче» (Немировский, 1923, с. 199).

Известно также, что П. И. Чайковский не любил точной настройки рояля в соответствии с темперацией, а просил настроить рояль «с разливом».

Таким образом, обнаруженную тенденцию опытных музыкантов уклоняться от точного интонирования музыкальных интервалов скорее, видимо, следует причислить к достоинствам, чем к недостаткам музыкального чувства. Но понятно, что отклонения от заданной высоты могут и часто являются результатом элементарного несовершенства музыкально-вокального слуха.

Следует также заметить, что на восприятие высоты звука известное влияние оказывает не только основной тон, но и спектральный состав сложных звуков. Звуки, богатые высокими спектральными составляющими, воспринимаются на слух как более высокие по сравнению со звуками, имеющими ту же частоту основного тона, но со слабо выраженными высокими гармониками (Корсунский, 1950; Гиппенрейтер, 1960).

Что же касается певческого голоса, то наличие в нем *вibrato*, представляющего собой в основном частотную модуляцию звука с периодичностью 5–7 Гц и глубиной до 100 центов и более, значительно снижает точность восприятия высоты голоса (по сравнению, например, с чистым тоном; Морозов, 2008).

В связи со всем вышесказанным, проблема точной оценки высоты звука, а следовательно, и его воспроизведения представляется далеко не решенной задачей, несмотря на значительное число различного рода концепций и теорий восприятия высоты (см. обзор Н. А. Дубровского и С. М. Ищенко, 1990).



## Компьютерный метод оценки точности воспроизведения заданной высоты звука и результаты исследования

С целью приблизиться к пониманию психофизиологической природы восприятия высоты звука, а также в научно-практических интересах (оценка вокальной одаренности и др.) нами в 2009 году были проведены экспериментальные исследования разрешающих возможностей голосового аппарата певцов разных возрастных и вокально-технических уровней по оценке точности воспроизведения голосом заданной высоты звука при пении разных вокальных гласных – А, Э, И, О, У – на разной высоте основного тона. Группа обследуемых вокалистов состояла из 15 человек в возрасте от 18 до 36 лет: 7 мужчин и 8 женщин из числа обучающихся пению в Академии музыки им. Гнесиных, Академии хорового искусства им. А. В. Свешникова, учеников частной вокальной школы заслуженного артиста России Ю. Б. Эдельмана и вокалистов, записанных мною на мастер-классах по диагностике вокальной одаренности.

Певцам данной группы давалось задание пропеть гласные А, О, У, Э, И на разных по высоте нотах диапазона голоса в пределах полутора октав, не на самых низких и не на самых высоких для певца нотах, которые дилетантам часто бывают недоступны. Им давалось также задание пропеть дважды большое арпеджио типа do-mi-lab-do<sup>1</sup>-lab-mi-do, транспонированное на середину диапазона каждого типа мужского и женского голоса.

Высота ноты и арпеджио задавались певцу на пианино.

Записывались также речевые гласные у всех певцов, произнесенные на привычной для каждого высоте голоса.

Запись производилась на кассетный магнитофон Panasonic RQ-A300/RQ-A200 с частотной характеристикой от 40 до 16000 Гц, а также на цифровой рекордер EDIROL R09 (фирмы ROLAND).

По техническому заданию автора проекта (В. П. Морозов) была разработана компьютерная программа (исполнитель – канд. техн. наук. А. И. Цыплихин), обеспечивающая оценку точности воспроизведения певцом высоты заданного звука.

На предмет оценки точности определения частоты основного тона голоса (ЧОТ) самой программы алгоритм программы был протестирован сравнительно с наилучшими зарубежными алгоритмами ТЕМПО (Kawahara) и VIN (de Cheveigne). Тестирование показало, что по точности определения ЧОТ разработанная программа превосходит указанные зарубежные алгоритмы в два раза. Алгоритм разработанной программы более устойчив к искажению спектра исследуемого сигнала, к различным видам шума к нестабильности длительности и амплитуды импульсов голосового источника (Цыплихин, 2006).

В целях удобства использования программы для оценки высоты музыкальных звуков оценка производилась в центах (цент – 1/100 часть темперированного полутона) с указанием высоты ноты в диапазоне контроктавы, большой, малой, первой и второй октавы, т. е. охватывала практически весь звуковысотный диапазон мужских и женских певческих голосов.

Параллельно с указанием высоты заданной на пианино и воспроизведенной певцом ноты в центах указывались значения этих звуков в герцах.

Программа высчитывала и регистрировала также отклонение заданной ноты от ее стандартной высоты в центах и герцах, неравномерность высоты звучания голоса певца (вследствие вибрато) в центах и герцах, среднее значение высоты воспроизведенной ноты в центах и герцах и, наконец, указывала конечный результат эксперимента – отклонение средней высоты воспроизведенной певцом ноты от заданной высоты звука (в центах и герцах).

Указывалась также длительность выделенного для анализа фрагмента заданного и воспроизведенного певцом звука в миллисекундах.

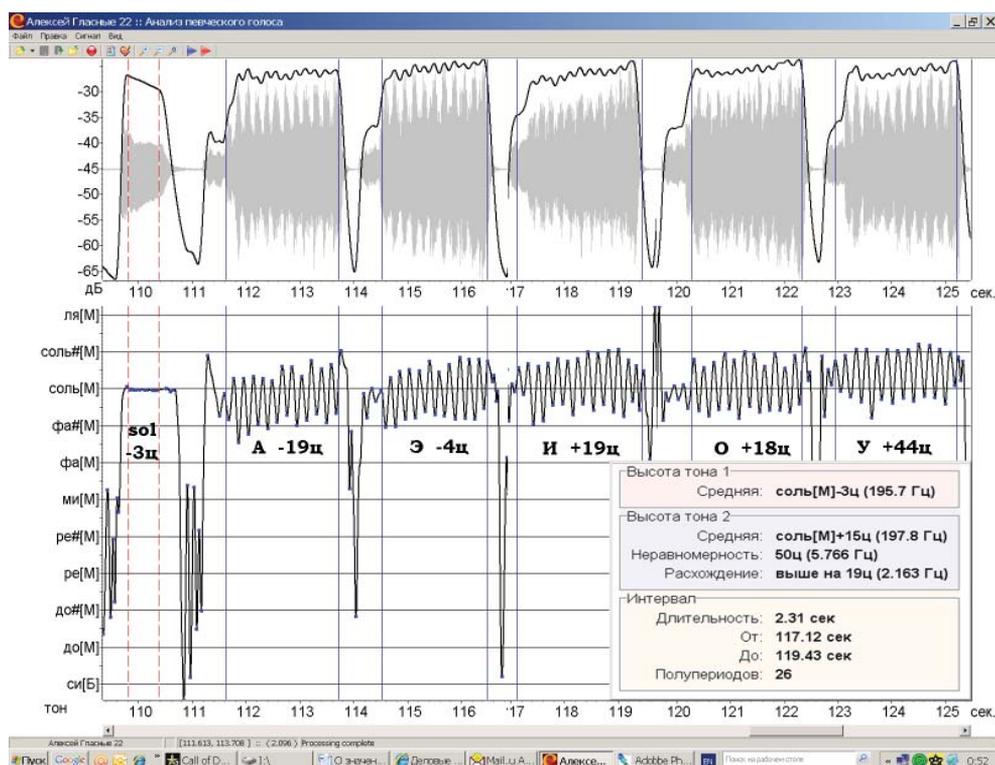


Помимо звуковысотных характеристик заданных певцу и воспроизведенных им звуков программа регистрировала в графическом виде осциллограмму и огибающую уровня указанных звуков в децибеллах.

Все вышеуказанные параметры автоматически регистрировались в графическом виде, а также в окне табло цифровых результатов анализа, которое размещалось оператором ЭВМ в удобном месте непосредственно на поле отображения графических результатов.

Особенностью певческого голоса, как уже упоминалось выше, является наличие вибрато, т. е. амплитудно-частотной модуляции (АЧМ) звука с периодичностью около 5–7 Гц. Глубина частотной модуляции вибрато у певцов достигает в среднем от четверти до полутона. Программа вычисляла среднее значение высоты голоса при наличии вибрато, что соответствовало слуховому восприятию высоты (Perc, 1964; Sundberg, 1987).

Пример графической и цифровой регистрации при помощи компьютерной программы точности воспроизведения певцом высоты заданного на пианино звука при пении гласных А, Э, И, О, У представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Пример графической и цифровой компьютерной регистрации точности воспроизведения певцом высоты заданного на пианино звука при пении гласных А, Э, И, О, У. Обследованный – бас А.В. – студент Академии музыки им. Гнесиных

Вверху – график изменения силы голоса в децибеллах (дБ) в виде осциллограммы и огибающей по амплитуде. Шкала изменения силы голоса – слева. Амплитудная модуляция вибрато проявляется в периодических изменениях силы звука с частотой вибрато. Внизу – график изменения высоты голоса в нотном обозначении (шкала высоты ноты слева). Частотная модуляция вибрато проявляется в хорошо заметных периодических изменениях высоты звука голоса относительно ее среднего значения.

Вертикальными линиями отмечены временные фрагменты заданного и воспроизведенного звуков, взятые для анализа.

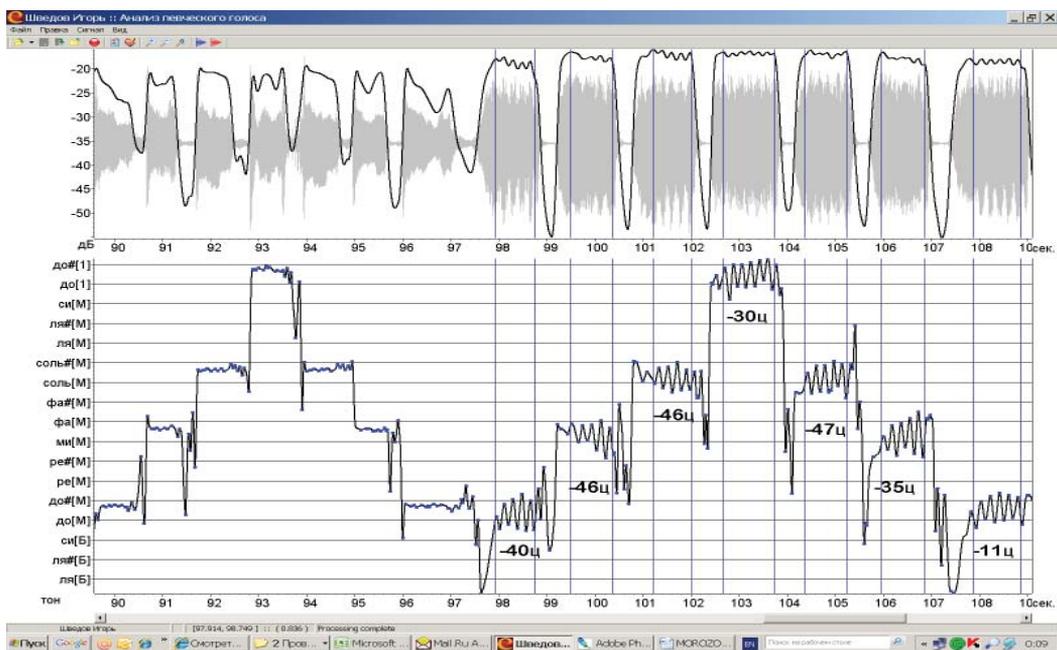
На табло внутри рисунка приводятся автоматически измеренные компьютерной программой параметры высоты заданного звука (тон 1) и воспроизведенной певцом гласной И в центрах и герцах (тон 2).



Цифровые результаты анализа автоматически регистрируются на цифровом табло (в данном случае справа). На табло отражены цифровые параметры заданного звука (тон 1) и воспроизведенного певцом (тон 2) на гласной И (в центах и Герцах). Поскольку заданный тон был на 3 цента ниже стандартной ноты sol, а певец воспроизвел его на 15 центов выше, то ошибка воспроизведения составила 19 центов (с учетом округления до десятых долей цента).

Высоту заданной ноты sol минус 3ц (на табло – тон 1) певец при воспроизведении ее на гласных А, Э понизил на 19ц и 4ц соответственно, а на гласных И, О, У повысил на 19ц, 18ц, и 44ц соответственно. Однако при наличии у данного певца вибрато глубиной около 50ц (об этом говорит на табло значение неравномерности 50ц воспроизведенного певцом звука) допущенные певцом неточности воспроизведения высоты гласных (для среднего музыкального слуха) практически незаметны, поскольку вибрато значительно маскирует неточности интонирования (Морозов, 2008).

На рис. 2 представлен пример графической регистрации точности воспроизведения певцом звуковысотных характеристик большого арпеджио на гласной А, семь нот в пределах октавы (do#–do#<sup>1</sup>) по гармоническим ступеням в восходящих и нисходящих направлениях (обследуемый – баритон И. Ш.)



**Рис. 2.** Пример графической регистрации точности воспроизведения певцом звуковысотных характеристик большого арпеджио на гласной А, семь нот в пределах октавы (do#–do#<sup>1</sup>) по гармоническим ступеням по восходящим и нисходящим направлениям (обследуемый – баритон И. Ш.).

Высота заданных на пианино нот и их последовательность отображается в виде ступенчатой пирамиды слева (do#–fa–lab–do#<sup>1</sup>–lab–fa–do#).

Справа – графическая картина воспроизведенных певцом нот заданного мелодического контура (большое арпеджио). Даже несмотря на вибрато (ок. 50ц), можно видеть, что певец заметно понижает заданную высоту нот. Степень понижения, вычисленная компьютерной программой, указана в центах со знаком минус для каждой из семи нот арпеджио: do#–40ц, fa–46ц, lab–46ц, do#<sup>1</sup>–30ц, lab–47ц, fa–35ц, do#–11ц.



Результаты статистической обработки данных эксперимента по оценке неточностей воспроизведения голосом заданной высоты тона по всей группе обучающихся пению (15 чел.) представлены в табл. 2 и 3.

**Таблица 2.** Средние для всей группы значения отклонения голоса певцов от заданного тона (центы по модулю) при пении гласных

	Гласные					Общ. средн.	Высота ноты		
	А	Э	И	О	У		низ.	сред.	выс.
<b>Среднее</b>	<b>28,61</b>	<b>27,16</b>	<b>24,20</b>	<b>28,16</b>	<b>24,18</b>	<b>26,46</b>	<b>24,82</b>	<b>23,29</b>	<b>31,41</b>
St.dev.	14,58	15,10	12,79	15,28	14,57	12,05	13,30	14,36	21,97
Мужчины									
<b>Среднее</b>	<b>36,92</b>	<b>26,05</b>	<b>21,67</b>	<b>26,33</b>	<b>23,87</b>	<b>26,97</b>	<b>25,16</b>	<b>21,20</b>	<b>35,07</b>
St.dev.	14,33	16,63	9,50	17,04	14,66	11,61	12,46	10,92	22,98
Женщины									
<b>Среднее</b>	<b>21,33</b>	<b>28,13</b>	<b>26,42</b>	<b>29,75</b>	<b>24,46</b>	<b>26,02</b>	<b>24,53</b>	<b>24,85</b>	<b>28,68</b>
St.dev.	10,93	14,71	15,43	14,56	15,50	13,20	14,85	17,07	22,35

Можно видеть, что при пении гласных общая средняя точность воспроизведения составила 26,46 центов (по модулю) и варьирует на разных гласных от 24,18 центов на гласной У до 28,16 центов на гласной О.

Алгебраическая сумма всех спетых певцами звуков (215) составила всего минус 3,26 цента, что говорит о практически одинаковых величинах понижения и завышения высоты заданных звуков в целом по всей группе певцов.

Общие средние для всех гласных в зависимости от высоты ноты показывают наибольшую ошибку на высоких нотах (31,41 ц), как технически наиболее трудных для певца, а наименьшую на средних (23,29 ц), как, по-видимому, технологически наиболее удобных.

Разница между мужскими и женскими голосами практически незначительна: 23,87 и 24,46 ц соответственно.

Вместе с тем весьма существенны *индивидуальные различия* как в подгруппе мужчин (от 14,90 до 48,47 ц), так и женщин (от 11,27 до 49,27 ц). В этой связи значения индивидуальных данных по точности воспроизведения высоты звука имеют немаловажное научно-практическое значение в качестве показателя вокальной одаренности и/или успешности обучения.

При воспроизведении заданного мелодического фрагмента (пение большого арпеджио; см. табл. 3) средняя неточность несколько возросла (29,84 ц) по сравнению со средней неточностью воспроизведения гласных (26,46 ц), что свидетельствует о большей технической сложности пения мелодического фрагмента арпеджио (в пределах одной октавы) по сравнению с пением гласных. Наибольшую ошибку певцы допустили в среднем при пении предпоследней ноты арпеджио в нисходящем его ряду 36,14 цента (нота № 6), а наименьшую на предпоследней ноте в восходящем ряду (нота № 3) – 23,82 цента.

Различия между мужскими и женскими голосами при воспроизведении мелодического контура (арпеджио) практически незначительны: 29,17 и 30,40 ц соответственно.



**Таблица 3.** Средние значения отклонения певца от заданного тона (центы по модулю) при воспроизведении мелодического фрагмента (пение арпеджио)

	Порядковый номер ноты в арпеджио							средн.
	1	2	3	4	5	6	7	
<b>Среднее</b>	<b>27,59</b>	<b>28,00</b>	<b>23,82</b>	<b>35,64</b>	<b>32,27</b>	<b>36,14</b>	<b>25,45</b>	<b>29,84</b>
St.dev.	16,62	18,92	16,54	18,12	16,65	20,04	17,02	11,30
Мужчины								
<b>Среднее</b>	<b>36,50</b>	<b>25,40</b>	<b>23,60</b>	<b>27,80</b>	<b>32,00</b>	<b>44,70</b>	<b>14,20</b>	<b>29,17</b>
St.dev.	17,59	16,12	15,85	17,24	12,63	13,70	6,02	9,09
Женщины								
<b>Среднее</b>	<b>20,17</b>	<b>30,17</b>	<b>24,00</b>	<b>42,17</b>	<b>32,50</b>	<b>29,00</b>	<b>34,83</b>	<b>30,40</b>
St.dev.	12,64	22,26	18,60	17,50	20,66	22,78	17,84	13,72

Вместе с тем при пении арпеджио средние индивидуальные различия между певцами данной группы (так же как и при пении гласных) оказались весьма значительными: от 17,00 до 55,57 ц в целом по группе, а по подгруппам – от 17,29 до 36,43 ц в подгруппе мужских голосов и от 17,00 до 55,57 ц в подгруппе женских.

Работа имела также целью оценку соответствия полученных объективных данных по неточности воспроизведения высоты заданных звуков каждым из певцов (по общим средним данным) субъективным слуховым оценкам музыкальности вокальными педагогами и/или концертмейстерами каждого из певцов. Коэффициент ранговой корреляции между этими показателями в ряду певцов составил величину  $R = -0,7783$ , при  $p = 0,0006$ , что в целом свидетельствует о достаточно хорошем соответствии субъективных оценок музыкальности обучающихся вокалистов с объективно допускаемыми ими неточностями воспроизведения заданных звуковысотных характеристик вокальных гласных (чем меньше объективная ошибка воспроизведения, тем больше субъективные оценки музыкальности).

### Заключение

Вокальная речь (речь певца в процессе пения вокального произведения) существенно отличается от обычной разговорной речи целым рядом особенностей акустического строения, слухового восприятия и психофизиологических механизмов образования в голосовом аппарате певца.

По сравнению с обычной разговорной речью вокальная речь во многих аспектах практически не изучена.

В настоящей работе рассмотрены и исследованы особенности интонационной точности воспроизведения певцом заданной высоты звуков при пении различных гласных на разных нотах диапазона голоса.

Такая способность певца относится к числу вокально-технических характеристик вокальной речи и ее основных музыкально-художественных и эстетических свойств.

В данной работе представлены новые экспериментальные исследования с применением специализированной компьютерной программы, разработанной по техническому заданию автора проекта (В. П. Морозов), для оценки интонационной точности воспроизведения группой обучающихся певцов заданной высоты отдельных нот на разных гласных (А,



Э, И, О, У) и мелодических фрагментов (большое арпеджио по гармоническим ступеням в пределах одной октавы).

Установлено, что средняя неточность воспроизведения гласных на разных нотах у данной группы обследуемых составила 26,46 цента, а при пении мелодического фрагмента (арпеджио) 29,84 цента, что в свете литературных данных (Гарбузов, 1948; Дубровский, Ищенко, 1990) можно считать достаточно удовлетворительным.

Вместе с тем установлены значительные индивидуальные различия по точности воспроизведения указанных звуковысотных характеристик вокальных гласных (средние индивидуальные значения по всей группе в целом) в весьма широких пределах: от 11,27 цента до 55,57 цента. Верхний предел неточности (55,57 ц) соответствует более половины темперированного полутона.

В представленном выше кратком литературном обзоре проблемы восприятия и воспроизведения высоты звуков приведены возможные *теоретические объяснения* феноменов интонационной неточности музыкантов (инструменталистов) и певцов.

Важно отметить три теоретически значимых обстоятельства. Во-первых, неточность воспроизведения высоты звука голосом обуславливается разрешающими возможностями как сенсорного процесса восприятия высоты (а по Н. А. Гарбузову, это зона до 50 центов), так и моторики голосового аппарата, которая может вносить свои погрешности в точность воспроизведения в зависимости от совершенства вокальной техники. У мастеров вокального искусства, владеющих, как правило, совершенной *резонансной техникой* голосообразования (Морозов, 2008), рационально тренированный голосовой аппарат не вносит искажений за пределы слухового восприятия высоты. Не владеющие же совершенной вокальной техникой обучающиеся певцы допускают большие неточности воспроизведения высоты (в некоторых случаях до 80 центов, особенно на высоких нотах, как нами показано в настоящей работе). Таким образом, теоретически (и это подтверждается экспериментально) точность воспроизведения высоты звука голосом объясняется взаимодействием *сенсомоторных механизмов голосообразования*.

Во-вторых, немаловажным теоретическим (музыкально-психологическим) объяснением неточности воспроизведения заданных мелодических фрагментов (например, арпеджио или фрагментов любого музыкального произведения) является стремление обладателей уже бесспорно тонко развитого музыкального слуха и ладового чувства (профессиональные певцы, скрипачи и др.) воспроизводить звуки не по ступеням двенадцатитемперированного строя (искусственно созданного, как известно), а по интервалам *гармонического* звукоряда (*чистого строя*), более благозвучного и свойственного гармонической природе музыкального слуха и ладового чувства (Барановский, Юцевич, 1956; Немировский, 1923 и др., см. краткий литературный обзор выше).

В третьих, при восприятии на слух вокальных звуков (в том числе и восприятии певцом собственного голоса в процессе самоконтроля его звуковысотных качеств) важна роль вибрато певческого голоса (в основном его частотной модуляции, доходящей до полутона и более), существенно скрадывающего неточность интонации (Рагс, 1964; Морозов, 2008).

Полученные нами результаты позволяют приблизиться к пониманию психоакустических механизмов восприятия и воспроизведения высоты музыкальных звуков.

Научно-методическое значение работы состоит в возможности применения разработанного нами нового объективного компьютерного метода оценки точности интонации для целей диагностики вокальной одаренности и оценки эффективности вокально-педагогических методов.



## **Литература**

- Артемов В.А. Метод структурно-функционального изучения речевой интонации. М., 1974. 160 с.
- Барановский П.П., Юцевич Е.Е. Звуковысотный анализ свободного мелодического строя. Киев, Изд. АН УССР, 1956.
- Бондарко Д.В., Вербицкая Л.А., Игнаткина Л.В., Светозарова Н.Д., Сергеева Т.А., Цветкова Л.В. О фонетических коррелятах различной степени выразительности и эмоциональности речи // Речь и эмоции. Материалы симпозиума. Л., 1975. С. 84–90.
- Гарбузов Н.А. Зонная природа звуковысотного слуха. М.-Л., 1948. 84 с.
- Гиппенрейтер Ю.Б. Восприятие высоты звука. Автореф. дисс. ... канд. психол. наук. М., 1960.
- Дубровский Н.А., Ищенко С.М. Высота звука // Слуховая система. Л., 1990.
- Зиндер Л.Р. Общая фонетика. Л., 1960. 336 с. с ил.
- Корсунский С.Г. Влияние спектра воспринимаемого звука на его высоту // Пробл. физиол. акуст., 1950. Т. 2. С. 161–165.
- Манеров В.Х. Исследование речевого сигнала для определения эмоционального состояния человека. Автореф. дисс. ... канд. психол. наук. Л., 1975.
- Мартынов В.С. Распределение высот основного тона мужских и женских голосов // Вопр. радиоэлектроники. 1962. Вып. 6. Сер. II. С. 15–27.
- Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие. М., 1966. 351 с.
- Морозов В.П. Вокальный слух и голос. М.-Л., 1965. 88 с. с ил.
- Морозов В.П. Искусство и наука общения: невербальная коммуникация. М., 1998.
- Морозов В.П. Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. М., 2008.
- Нестеренко Е.Е. Размышления о профессии. М., 1985.
- Немировский Л.Г. Акустика физическая, физиологическая и музыкальная. М.-Петроград, 1923.
- Островский А.Л. Очерки по методике теории музыки и сольфеджио. Л., 1954. 304 с.
- Рагс Ю.Н. Вибрато и восприятие высоты // Применение акустических методов исследования в музыковедении. М., 1964. С. 38–60.
- Светозарова Н.Д. Интонационная система русского языка. Л.: Изд. ЛГУ, 1982.
- Станиславский К.С. Моя жизнь в искусстве. М., 1926. 541 с.
- Хилов К.Л. Об элементах абсолютного слуха // Журнал ушных, носовых и горловых болезней. 1929. № 7. С. 726–732.
- Цыплихин А.И. Анализ и автоматическая сегментация речевого сигнала. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2006.
- Sedlaiek R., Sychra A. Hudba a slovo g experimentalniho hiediska. Praha, 1962. 99 s.
- Sundberg J. The Science of the Singing Voice. Dekalb, Illinois, 1987.



## COMPUTER RESEARCH OF INTONATIONAL ACCURACY OF VOCAL SPEECH

*MOROZOV V.P., Institute of Psychology RAS, Moscow*

In the article we present the results of the computer research of sound elevation characteristics of the vocal vowels, precisely – the ability of vocalists to the reproduction of the given pitch of sound. The sound elevation characteristics of vowels of the vocal speech, that is actual melodic structure of vocal speech of any vocal composition – the most important quality (property) of vocal art, and the ability for the accurate intonation – the most important musical artistic and vocal technological ability of singer, however, of any musician. We consider the theoretical (psychological) basis of various causes of inaccuracy of the reproduction of the melodic structure of vocal speech by vocalists.

**Keywords:** perception, reproduction of sound, vocal speech, high-frequency characteristics of speech, sensorimotor mechanisms of phonation.

### ***Transliteration of the Russian references***

- Artemov V.A.* Metod strukturno-funktsional'nogo izucheniya rechevoi intonatsii. M., 1974. 160 s.
- Baranovskij P.P., Yutsevich E.E.* Zvukovysotnyi analiz svobodnogo melodicheskogo stroya. Kiev, Izd. AN USSR, 1956.
- Bondarko D.V., Verbitskaya L.A., Ignatkina L.V., Svetozarova N.D., Sergeeva T.A., Tsvetkova L.V.* O foneticheskikh korrelyatah razlichnoi stepeni vyrazitel'nosti i emocional'nosti rechi // Rech' i emocii. Materialy simpoziuma. L., 1975. S. 84–90.
- Garbuzov N.A.* Zonnaya priroda zvukovysotnogo sluha. M.-L., 1948. 84 s.
- Gipperreiter Yu.B.* Vospriyatие vysoty zvuka. Avtoref. diss. ... kand. psihol. nauk. M., 1960.
- Dubrovskij N.A., Ischenko S.M.* Vysota zvuka // Sluhovaya sistema. L., 1990.
- Zinder L.R.* Obschaya fonetika. L., 1960. 336 s. s il.
- Korsunskij S.G.* Vliyanie spektra vosprinimaemogo zvuka na ego vysotu // Probl. fiziol. akust., 1950. T. 2. S. 161–165.
- Manerov V.X.* Issledovanie rechevogo signala dlya opredeleniya emocional'nogo sostoyaniya cheloveka. Avtoref. diss. ... kand. psihol. nauk. L., 1975.
- Martynov V.S.* Raspredelenie vysot osnovnogo tona muzhskikh i zhenskikh golosov. Vopr. radioelektroniki. 1962. Vyp. 6. Ser. II. S. 15–27.
- Mol' A.* Teoriya informatsii i esteticheskoe vospriyatие. M., 1966. 351 s.
- Morozov V.P.* Vokal'nyi sluh i golos. M.-L., 1965. 88 s. s il.
- Morozov V.P.* Iskusstvo i nauka obscheniya: neverbal'naya kommunikatsia. M., 1998.
- Morozov V.P.* Iskusstvo rezonansnogo peniya. Osnovy rezonansnoi teorii i tehniki. M., 2008.
- Nesterenko E.E.* Razmyshleniya o professii. M., 1985.
- Nemirovskij L.G.* Akustika fizicheskaya, fiziologicheskaya i muzykal'naya. M.-Petrograd, 1923.
- Ostrovskij A.L.* Ocherki po metodike teorii muzyki i sol'fedzhio. L., 1954. 304 s.
- Rags Yu.N.* Vibrato i vospriyatие vysoty //Primenenie akusticheskikh metodov issledovaniya v muzykoznanii. M., 1964. S. 38–60.
- Svetozarova N.D.* Intonatsionnaya sistema russkogo yazyka. L.: LGU, 1982.
- Stanislavskij K.S.* Moya zhizn' v iskusstve. M., 1926. 541 s.
- Hilov K.L.* Ob elementah absolyutnogo sluha // Zhurnal ushnyh, nosovyh i gorlovyh boleznei. 1929. № 7. S. 726–732.
- Tsyplihin A.I.* Analiz i avtomaticheskaya segmentatsia rechevogo signala // Avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk. M., 2006.