

АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ВОКАЛЬНОГО ЗВУКА

В статье выдвигается гипотеза сходства аэродинамических процессов и процесса вокального звукоизвлечения. Подчеркивается общность процесса движения воздуха. Актуализируется понимание певческого звукообразования именно как физического процесса формирования звуковых колебаний, воспринимаемых слуховыми рецепторами слушателя.

Ключевые слова: певец, звукообразование, колебания воздуха, физический процесс.

Аэродинамические процессы и процессы вокального звукообразования, как правило, относят к совершенно различным сферам знания. Тем не менее, сходство данных явлений «бросается в глаза».

Выявление подобных сходств находится вполне в русле синергетической научной парадигмы, утверждающей подобие процессов даже при кардинальном различии сфер, в которых они протекают. В связи с этим наблюдения над природой вокального звука с точки зрения аэродинамики не только допустимы, но и необходимы как путь к расширению представлений о вокальном звуке.

Творческая деятельность певца многоаспектна. Певец имеет дело сразу с несколькими комплексами творческих задач, решение которых должно быть осуществлено и синхронизировано в каждое мгновение выступления. С одной стороны, неподвижный, написанный композитором нотно-вербальный текст, с другой стороны, аудитория, множество живых и разных людей. Между этими двумя «полюсами» лежит множество вопросов, которые решаются певцом, – прочтение текста, проникновение в образ, формирование собственной исполнительской трактовки, огромный массив вокально-технических задач и многое, многое другое. Ещё большее количество вопросов возникает перед певцом в опере, где подключаются ещё аспекты актёрской пластики, ориентирования в сценическом пространстве, контакта со сценическими партнёрами и т.п.

Однако певец является певцом, – а не танцором, не мимом, не драматическим актёром, – именно благодаря тому, что фундаментом его творчества служит **фонация**, обращение, прежде всего, к слуховому восприятию аудиторией, к **аудиальной модальности**. Именно о специфике певческой фонации, нацеленной на аудиальную модальность восприятия, пойдёт речь далее.

Дыхание, выступающее общеизвестной и неоспоримой основой певческой фонации, включает в себя два поочерёдно сменяющихся этапа: вдох и выдох. В деятельности певца соотношение этих этапов может быть выражено схемой:

вдох → выдох,

так как вдох является лишь необходимым «забором запаса воздуха» для длительного, как раз и несущего звуковое содержание выдоха.

Подытожим сказанное: **процесс певческого звукообразования – это контроль над исходящим потоком воздуха, контактирующим со связками и резонаторами.**

Природа процессов контроля над потоком воздуха в аэродинамике и вокале сходна принципиально, но различна функционально: если в первом случае наблюдаем управление летательными аппаратами, то во втором – внутренние механизмы художественного звукообразования. Однако и в том, и в другом случае видим ситуацию **сознательного управления неким воздушным потоком**; данное сходство позволяет предположить наличие других, более частных сходств. На этом основании считаем правомерным перенести ряд закономерностей, фиксируемых в аэродинамике, в область вокального звукообразования.

Для вокального звука акустические условия его функционирования являются аналогом «внешних (погодных) условий» для летательного аппарата. В связи с этим представляется допустимым и даже необходимым изучение аэродинамики певческого звукообразования

в комплексе с вопросами акустической организации пространства функционирования вокального звука.

Вокальный звук – комплексное многоаспектное явление, включающее две обширные сферы: физическую и эстетическую. Физические и художественно-эстетические составляющие вокального звука не могут существовать в отрыве друг от друга, так как физические параметры позволяют отразить художественную составляющую. И эти два аспекта в единстве способны усилить впечатление в сознании слушателя [1. С. 418].

В рамках физической сферы вокальный звук – это результат акустических и аэродинамических эффектов в голосовой системе человека (включающей пневматическую систему => генератор звука (связки) => резонаторы). Звук – субъективное ощущение в слуховой системе, возникающее от проходящей звуковой волны. А звуковая волна – это процесс переноса энергии механических колебаний в упругой среде [2. С. 57] (в нашем случае в воздушной среде атмосферы нашей планеты). Звуковая волна первоначально зарождается в голосовых связках – в результате турбулентных процессов воздушных потоков в тонкой щели голосовых связок («краевые тоны» в аэродинамике [2. С. 391]), нагнетаемых работой мышечной системы легких. Звуковые колебания связок очень тихие, т.к. связки сами по себе имеют очень малые размеры (1,6–2,2 см) и спрятаны далеко от поверхности тела, закрытые хорошо поглощающими звук элементами мышц и соединительной ткани гортани, языка и неба. Для преодоления этого эффекта в человеческом голосе используется явление резонанса [3. С.12], который позволяет усилить первичные колебания связок в 1000 раз [1. С. 27].

Это сложное устройство отличают присущие ему специфика тембра, непревзойденная гибкость, многогранность качеств, возможность передачи тончайших нюансов звучания и т.д. Однако ввиду чрезвычайной сложности и гибкости образования человеческого голоса он очень уязвим (особенно у неопытных певцов), зависит от физического и психологического состояния исполнителя, а также, разумеется, от эффективности и качества его работы на этапе подготовки музыкального произведения.

Певческий голос, так же как и другие музыкальные инструменты, обладает тембром, «окраской» (он формируется соотношением громкости обертонов (формантные зоны) в разные временные периоды звучания звука: атака-удержание-снятие). Эти гармоники по высоте строятся по закону натуральных чисел к основному (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7...) и на эту же цифру кратны основному тону – ноте. Для человеческого голоса характерны усиления громкости в зонах обертонов, соответствующие двум частотным полосам: низкой и высокой певческих формант (НПФ – 400–600 Гц, ВПФ – 2500–2700 Гц) [1. С. 89].

Человеческий голос можно отнести к духовым музыкальным инструментам (аэрофонам), т.к. источником звука являются колебания воздушного столба (изначально в голосовых связках с эффектом «краевых тонов» аэродинамических вихрей воздуха, а впоследствии при помощи движения воздуха и его упругих колебаний в полостях – резонаторах). Таким образом, можно обоснованно говорить об аэродинамических процессах в формировании любого вокального звука.

Начало движения воздуха зарождается в легких, которые двигаются под воздействием системы мышц: мышц диафрагмы, межреберных мышц; звук движется к бронхам, далее в трахею, а затем попадает на сомкнутые голосовые связки. От формы и размера образуемого связками отверстия, а также степени натяжения и геометрического расположения в пространстве между перстневидным и щитовидным хрящами зависит высота генерируемого звука. Далее возникают акустические резонансные эффекты, которые также отчасти согласуются с аэродинамическими процессами в голосовом тракте человека.

В процессе обучения искусству вокального звука вокальные педагоги часто используют аналогию с трубой. Как и в трубе, в голосовых связках используется в качестве генератора энергия сжатого воздуха, созданная за счет мускульных усилий музыканта [2. С. 245], воздух, попадая на губы музыканта-духовика, вызывает вибрацию в них, которая возбуждает столб воздуха, так и в связках при подаче давления воздух под связками вызывает вибрацию воздушного столба. Далее звук усиливается в системе резонаторов (в легких, в грушевидных

резонаторах, в надгортаннике, а также в ротовой и, отчасти, в носовой полости). Резонатором в обоих примерах служит воздушный столб в трубе.

Всюду, где струя воздуха проходит с большой скоростью мимо края какого-то препятствия, могут образовываться «краевые тоны» (свист ветра в парусах, гудение проводов и т.д.). Причиной возникновения краевых тонов является нерегулярность потоков воздуха, приводящая к появлению вихрей. Такие нестабильные нерегулярные потоки воздуха могут возникать и тогда, когда струя вытекает из узкого отверстия или щели. Здесь можно рассматривать три возможные ситуации:

- 1) поток воздуха вырывается из узкой щели;
- 2) поток воздуха вырывается из щели и натывается на острую кромку твердого тела;
- 3) поток воздуха и кромка сопрягаются с резонатором.

Все эти три процесса соединяются в лабиальных духовых инструментах [2. С. 209].

Аэродинамические процессы, происходящие в голосовых связках, можно сравнить с аэродинамическими процессами в языковых трубах органа. Модуляция воздушного потока происходит за счет колебания язычка – тонкой медной искривленной пластинки, которая закреплена на круглом цилиндре (колодке), сделанном из желтой меди или другого металла. Все звукообразующие элементы помещены в полый металлический цилиндр, называемый стаканом (ножку трубы). Сторона цилиндра (колодки), обращенная к язычку, плоская, с треугольным отверстием. При продувании воздуха через это отверстие давление падает по закону Бернулли и язычок прижимается к отверстию, закрывая проход воздуха. Затем под действием собственной упругости и под давлением воздуха в трубе язычок отходит от отверстия, открывая путь для потока воздуха, и процесс начинает периодически повторяться. Под действием периодических толчков воздуха в трубе возбуждаются колебания, которые затем поддерживаются в режиме автоколебаний за счет подводимой энергии сжатого воздуха. Значительное влияние на тембр и акустические характеристики труб оказывают также конструктивные параметры язычка: длина, ширина, кривизна, толщина и т.д. Толщина язычка имеет существенное значение: чем толще язычок, тем большая сила (давление воздуха) должна быть приложена, чтобы заставить его вибрировать, но при этом получается более громкий звук с подчеркнутой основной частотой (тембр более «темный»). Кривизна язычка имеет существенное влияние на атаку звука, она подбирается в зависимости от требуемого тембра: если кривизна подобрана так, что в какой-то короткий период колебания отверстие закрывается почти полностью, получается тембр, богатый обертонами; если кривизна достаточно велика и отверстие никогда полностью не закрывается, спектр содержит меньше обертонов. Следует отметить, что у труб одного регистра для поддержания единства тембра кривизна язычков должна быть одинакова. Соотношение размеров (мензура) влияет на спектр так же, как и у лабиальных труб: широкие трубы дают более громкие звуки, но с меньшим количеством обертонов, узкие трубы – более тихие, но с большим количеством обертонов (они, соответственно, более разнообразны по тембрам звучания). В отличие от лабиальных труб, где изменение длины трубы однозначно связано с изменением высоты тона, у языковых труб изменение длины не всегда приводит к изменению высоты тона, но всегда приводит к изменению тембра [2. С. 274].

При множестве сходств специфика аэродинамических процессов в голосовом аппарате человека, в отличие от органных труб, выражается в двух факторах:

- 1) «набор» воздуха (вдох) и расход воздуха (звукоизвлечение) являются неразделимым процессом, протекающим в единой системе – организме певца;
- 2) все элементы данной системы отличаются динамичностью и влияют друг на друга.

Первоосновой аэродинамических процессов в пении является дыхание. И современная методика постановки голоса, берущая свои традиции еще от старой итальянской школы *bel canto*, уделяет дыханию огромное внимание. В вокальном искусстве, как известно, ценятся такие качества:

- 1) мягкая упругая атака;
- 2) эластичное распевание нот и фраз;

3) плавный легатированный переход между отдельными слогами / словами / предложениями;

4) объединение дыханием отдельных фраз и предложений для достижения целей художественной выразительности слов и смысла произведения.

Bel canto рекомендует певцам использовать диафрагмальный тип дыхания, он единственный позволяет достичь вышеописанных качеств пения.

Высокое значение дыхания в пении подчеркивал известный баритон Сесто Брускантини в беседе с Л.Б. Дмитриевым (1970): «Есть мнение, что дышать в пении можно по-разному. Однако на основании наблюдения за собой и за большими певцами, с которыми мне приходилось петь, я пришел к выводу, что такое утверждение ошибочно. Вот, например, Джильи. Я его хорошо знал. Это был самый лучший певец, которого мы когда-либо имели в смысле стиля пения, в смысле звука. У него была самая лучшая певческая фонация, самое легкое звукоизвлечение. Джильи мог петь безостановочно, непрерывно. Он никогда не утомлялся, и это, я думаю, не только из-за своего чудесного горла, но из-за дыхания. Когда Джильи пел, было понятно, что у него все основано на дыхании. Он дышал не просто животом, а нижней частью живота. Между тем многие певцы... подают дыхание областью подложечки, то есть диафрагмой. Я сам пел такой манерой много лет, потому что меня никто не учил петь по-другому. Голос никак не развивался; и только когда меня научили дышать более низко, я моментально почувствовал облегчение. Голос развивался, более легко пошли верхние звуки, дыхание стало более продолжительным. Кроме того, появилась возможность делать хорошо связанные фразы, появились хорошее легато, льющийся звук, то качество, которое называется смычком у виолончели. Это качество очень важно. Прежняя система дыхания, которой я пользовался, явно себя не оправдала» [6. С. 82].

Таким образом, очевидно, что профессиональные вокальные педагоги и вокалисты-практики рекомендуют нижнедиафрагмальный тип дыхания, который, с одной стороны, облегчает процесс пения и позволяет исполнять более длинные и выразительные фразы, с другой – обеспечивает оптимальный режим работы голосовых связок певца, который позволяет сохранить красоту, тембр и эластичность голоса до самой старости.

Женское пение специфично и отличается от мужского. Во-первых, стоит отметить самое важное качество – более высокий диапазон по сравнению с мужским голосом. Если в процессе пения мужские голоса в большей части своего диапазона используют преимущественно грудной резонатор, то женские голоса используют высокий резонатор (головной). Переходя в процессе пения снизу вверх диапазона, голос певца «озвучивается» (усиливается) разными резонаторами: в начале пения – грудной резонатор, потом смешанный – грудной и головной, при движении дальше по диапазону – только головной. Переход из одного резонатора в другой сопровождается «переходными» нотами, которые являются сложными для пения и требуют от певца дополнительного их контроля при помощи поддержки дыхания, округления и внимания к тембру.

Очень важным параметром является *атака*, от которой зависит «застройка» дыхания на протяжении всей фразы. Всего существует три вида атаки звука:

- **придыхательная**, при которой следует пустить струю воздуха и на этой проходящей дыхательной струе сомкнуть голосовые складки;
- **твердая** (прямо противоположная первой), при которой голосовые складки вначале плотно смыкаются и только потом резким толчком дыхания размыкаются;
- **мягкая**, характеризующаяся наилучшим тембром, интонационной точностью, спокойным дыханием и одновременным включением голосовых складок и дыхания в работу [6. С. 34].

Вся вокальная методика направлена на освобождение от любых мышечных «зажимов» и развитие эластичности певческого аппарата. Поэтому оперная школа вокального пения (и не только она) рекомендует мягкую или придыхательную атаку и категорически запрещает твердую. Связано это с тем, что твердая атака принуждает работать весь организм в «экстремальном» режиме. В первую очередь от этого страдает генератор акустических колеба-

ний – человеческие связки [1. С. 219], которые являются наиболее сложным и «нежным» органом, и огромные потоки воздуха, поданные резким импульсом, способны их повредить.

Очень важным для вокалиста является ощущение правильного вокального импеданса во время пения.

Термин «импеданс» происходит от латинского слова «impedire» – сопротивляться. Его можно заменить русским словом «сопротивление», но этого делать не следует, т.к. в процессах, связанных с колебаниями, простое понятие «сопротивление» обогащается новым содержанием [3. С. 13.]. Р. Юссон постоянно употребляет выражение «импеданс, приведенный на гортань», подчеркивая этим, что речь идет об импедансе на уровне гортани. Пневматическая энергия, посылаемая легкими и диафрагмой, несколько ослабевает, проходя по поверхности бронхов. Далее большая часть энергии тратится на «преодоление» и «раскачивание» натянутых голосовых связок гортани певца.

Пневматическая энергия воздуха легких, пройдя через аэродинамические преобразования кромок щели, образуемой голосовыми связками [2. С. 210], превращается в музыкальный звук с обертонами. Однако от связок до кончиков зубов лежит еще немалое расстояние¹; передача энергии усложняется еще и тем, что над связками пролегает резкий поворот на 90 градусов вперед – в ротовую и носовую полости. При этом отверстие к ротовой полости образуется между поднятым мягким небом и опущенным корнем языка. Импеданс – сопротивление выдыхаемому потоку воздуха-звук – зависит и от размера и формы отверстия между мягким небом и корнем языка. Контролируется ощущением «зевка» или «полужевка».

Параллельно с ротовой полостью частично звук проходит через носовую (когда «заложен нос», импеданс выше, что плохо отражается на звуке). Дальше звук проходит через ротовую полость, контролируемую опусканием челюсти и движениями языка, в которой формируются гласные и согласные фонемы. Импеданс воздушному потоку вокального аппарата певца создается даже атмосферой земли, тем самым, как и в устройстве органных труб, удлинняя размер резонатора [2. С. 270].

Дыхание певца должно правильно соотноситься с импедансом голосового тракта. Например, если предположить, что вокальный навык певца развит хорошо и работа всех мышц и систем стабильна, то огромное влияние на импеданс оказывает та гласная, которую он поет. Наименьшим импедансом обладают гласные «А» и «О», наибольшим – «И» и «У». И для того, чтобы компенсировать увеличение импеданса при исполнении разных гласных, работа дыхания должна постоянно динамически изменяться, «приспосабливаясь» к каждой гласной.

Помимо самой гласной, пропеваемой в конкретное мгновение времени, певец непосредственно может влиять на импеданс при помощи «зевка» (ощущение, как при зевании, которое поднимает мягкое небо, опускает корень языка и опускает также и гортань). При этом увеличение просвета между мягким небом и корнем языка уменьшает импеданс, а опускание гортани незначительно его увеличивает, одновременно с этим увеличивая объем надгортанного резонатора, способствуя усилению низкой певческой форманты.

Также стоит отметить важнейшую – защитную – роль импеданса при пении высоких нот или же нот с твердой атакой. Сопротивление воздуха, находящегося над связками в гортанно-глоточной полости, смягчает резкое движение раскрывающихся связок, что предохраняет их от повреждений и делает их работу более «мягкой», «эластичной» [3. С. 99].

Аэродинамические процессы, коррелирующие с явлением вокального импеданса, – это, как можно предположить, сопротивление реактивной струе воздуха, инициирующее образование необходимого давления (с этим, вероятно, связано понятие вокального vibrato, способствующего снятию со связок излишней нагрузки).

Очень большое и крайне отрицательное влияние на качество пения оказывают так называемые зажимы. Например, К.С. Станиславский пишет: «Вы не можете себе представить, каким злом для творческого процесса является мышечная судорога и телесные зажимы. Когда они создаются в голосовом органе, люди с прекрасным от рождения звуком начинают хри-

¹ См.: [2. С. 72]: басы – 28,6 см, баритоны – 25,9 см, тенора – 20,4 см.

петь, сипеть. Когда зажим утверждается в ногах, актер ходит, точно паралитик, когда зажим в руках, руки коченеют, превращаются в палки и поднимаются, точно шлагбаум. Зажим может появиться и в диафрагме, и в других мышцах, участвующих в процессе дыхания, нарушить правильность этого процесса и вызвать одышку» [10. С. 95]. Умение ощущать и отыскивать зажимы в работе своего тела, и голосового аппарата в частности, – важный компонент успешного выступления и вокальной подготовки. Расслабление тела и эластичность, а не зажатость мышц – важный компонент, на который обращают внимание все вокальные педагоги. Из-за того что процесс движения всех полостей контролируется при помощи мышц, любой зажим лишает человека возможности точно и быстро изменять режимы его работы. Зажимы в брюшной полости приведут к зажатому, неэластичному, «мертвому» дыханию, зажимы в гортани приведут к плохому смыканию связок, зажимы в нижней челюсти приведут к катастрофическому увеличению импеданса в звуковом тракте – и звук «пойдет в нос», а также будет очень тихим. Очень часто зажимы могут возникнуть даже у профессионалов, например, при пении высоких нот. В контексте нашей проблематики зажимы трактуем как нарушение нормальной циркуляции воздушного потока.

Итак, рассмотрев различные аспекты физической составляющей творчества певца, приходим к выводу о единстве природы вокального звукообразования и аэродинамических процессов, что создаёт значительные перспективы в изучении вокального звука.

Использованные источники

1. Морозов В.П. Искусство резонансного пения. Основы резонансной теории и техники. – М., 2008.
2. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика: учебник. – СПб.: Композитор, 2014. – 720 с., ил.
3. Юссон Р. Певческий голос: Исследование основных физиологических и акустических явлений певческого голоса. – М.: Музыка, 1974.
4. Мхитарян А.М. Аэродинамика. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1976.
5. Сонки С.М. Теория постановки голоса в связи с физиологией органов, воспроизводящих звук: учебное пособие. – СПб.; М.; Краснодар: Планета Музыки, 2016.
6. Аникеева З.И., Аникеев Ф.М. Как развить певческий голос. – Кишинев: Штиинца, 1981.
7. Морозов В.П. Резонансная техника пения и речи. Методики мастеров. – М.: Когито-Центр, 2013.
8. Фант Гуннар. Акустическая теория речеобразования / пер. с англ. Л.Р. Варшавского, В.И. Менделеева. – М.: Наука, 1964.
9. Гарбузов Н.А. Зонная природа звуковысотного слуха. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1948.
10. Станиславский К.С. Работа актера над собой. – М.: Худ. лит., 1938.

The used sources

1. Morozov V.P. Art of resonant singing. Bases of the resonant theory and equipment. – M., 2008.
2. Aldoshina I., River Pritts. Musical acoustics: textbook. – SPb.: Composer, 2014. – 720 p.
3. Yussion R. The song voice: Research of the main physiological and acoustic phenomenon of a singing voice. – M.: Music, 1974.
4. Mkhitaryan A.M. Aerodinamik. – M.: Mechanical engineering, 1976.
5. Sonki S.M. The theory of voice training in connection with physiology of the bodies reproducing a sound: manual. – SPb.; M.; Krasnodar: Planet of Music, 2016.
6. Anikeeva Z.I., Anikeev F.M. How to develop a singing voice. – Kishinev: Shtiintsa, 1981.
7. Morozov V.P. Resonant technology of singing and speech. Techniques of masters. – M.: Kogito-center, 2013.
8. Funt Gunnar. The acoustic theory of the speech production / lane with English L.R. Varshavsky, V. I. Mendeleyev. – M.: Science, 1964.
9. Garbuzov N.A. Zonal nature of sound high-rise hearing. – M.; L.: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR, 1948.
10. Stanislavsky K.S. Work of the actor on itself. – M.: The Art Literature, 1938.

V. Klimenko

AERODYNAMIC NATURE OF THE VOCAL SOUND

In article the hypothesis of similarity of aerodynamic processes and process of vocal sound extraction is made. The air movement process community is emphasized. The understanding of singing sound education as physical process of formation of the sound vibrations perceived by acoustical receptors of the listener is staticized.

Keywords: singer, sound education, air fluctuations, physical process.