

SINGING SPEECH AS AN ACOUSTIC PHENOMENON⁴²

Assoc. Prof. Pavel Stefanov, PhD

Department of Soundengineering and Sounddesign,

National Academy of Music “Prof. Pancho Vladigerov” – Sofia

Tel.: 086-820 471

E-mail: pavel_stfnv@mail.bg

Abstract: *The human voice is the most perfect musical instrument, and the most ancient known to mankind. This article examines some characteristic features of singing speech in terms of acoustic sound patterns. Sound production, respiration, frequency response of vocal emission, body resonators and the physical aspects of specific artistic performance techniques are only part of the acoustic problems of human singing.*

Keywords: *singing voice, human voice, formants, resonators, modulation, vibrato*

ВЪВЕДЕНИЕ

Процесът на гласообразуване е сложен и многоетапен. Той включва значително разнообразие от физиологични елементи, тяхното действие и взаимодействие. Могат да се обособят следните основни функционални категории при възникване на говор:

- генератор – дихателната система на човек, състояща се от въздушен резервоар (белите дробове), източник на допълнителна енергия; мускулната система и изходния канал – трахеята, и специалният апарат на ларинкса, където въздушната струя се прекъсва и модулира
- вибратор – гласните връзки и въздушната струя, създаваща турбулентни и импулсни завихряния
- резонатори – разклонените и подлежащи на преструктуриране резонантни кухини със сложна геометрична форма – устна кухина, носова кухина, фаринкс. Всички те се обединяват под наименованието *артикуляционна система*.

Информацията, която носи речевия сигнал, се дели на семантична (смеслова, логическа), и емоционално-естетическа. В речта основна се явява първия вид информация, докато в певческата реч, главните задачи се състоят в предаване на емоционално-естетическата информация.

Термините *певческа реч* и *пеене* означават едно и също, но „пеене“ се използва повече като художествено понятие, докато „певческа реч“ е понятието, което разглежда процеса от гледна точка на акустиката.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Певческата реч се отличава съществено от обикновената реч в няколко съществени пункта – специфика на организация на дишането, наличие на специфични формантни структури, наличие на певческа форманта, специфични форманти във високия регистър на гласа, използването на различни регистри, наличие на амплитудна и честотна модулация (вibrato и тремоло), големи девиации в акустичните параметри при изразяване на емоциите и др.

Всичко това обуславя спецификата на акустичните характеристики на певческата реч – по-широк честотен диапазон, голям динамичен диапазон, специфично спектрално разпределение на мощността, и не на последно място наличие на известни проблеми с разбираемостта.

⁴² Докладът е представен на конференция на Русенския университет на 29 октомври 2021 г. в секция Изкуствознание с оригинално заглавие на български език: ПЕВЧЕСКАТА РЕЧ КАТО АКУСТИЧЕН ФЕНОМЕН. и отразява резултати от изследване по проект на катедра БЕЛИ по ФНИ: „Изследване релацията между традиционни и иновационни технологии в съвременното обучение по хуманитаристика”.

Основните акустични параметри на певческата реч, очертаващи нейните конкретни особености, могат да се обобщят в няколко пункта.

Тонов и честотен обхват на човешките певчески гласове.

- Бас – 82,4 (Е) – 329,6Хц (f^1)
- Баритон – 110 (А) – 440Хц (a^1)
- Тенор – 130,8 (с) – 523,25Хц (c^2)
- Мезо сопран – 196 (g) – 932,3Хц (b^2)
- Сопран – 261,6 (c^1) – 1046,5Хц (c^3)
- Колоратуран сопран – 261,6 (c^1) – 1568Хц (f^3)

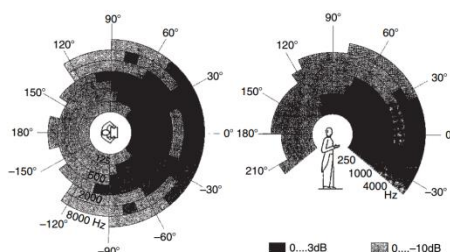
Трябва да се отбележи, че това са средностатистически стойности, като съществуват значителни индивидуални различия и изключения. Честотният обхват на певческите гласове може да се разшири до 10 – 12 кХц, като високочестотните компоненти отговарят за образуването и идентификацията на съгласните. Звучните съгласни достигат до 8000 кХц, беззвучните – до 12 кХц.

Динамичният диапазон при певческата реч е значително по-широк от говорната, като абсолютното ниво се покачва прогресивно от нисък към висок регистър. Максималните стойности на динамика при оперните гласове може да достигнат 100 – 120 дБ. Минималната стойност на динамиката бележи стойности под 60 дБ НЗН (Ниво на звуково налягане). Това очертава общ динамичен диапазон от 60 – до 70 дБ.

Преходните процеси зависят много от вида атака – мека или твърда, и начина на звукообразуване. Това очертава много широки граници на продължителността на зазвучаването – от 30 до 300 мс. Водещ е характерът на началния звук: при експлозивните емисии е налице кратък шумов импулс с дължина 20-30мс, след който цялата хармонична поредица се генерира в рамките на 40-60мс. Атаката на шипящите съгласни е от порядъка на 250мс. Необходимата реверберационна среда за подходящо функциониране на вокалната реч е значително по-активна от тази на говора, но при звукозапис дифузната компонента трябва да се балансира внимателно, защото „прекалено наситения с реверберация звукозапис се счита за недостатък – липсва разбираемост, възможно е цели пасажии от речта да бъдат „замъглени“ (Крачунова-Попова, 2017, *Звукът в документалното кино*. Дисертационен труд).

Характеристиката на насоченост се променя с увеличаване на честотата, аналогично на изменението при речевия сигнал. Решаващо значение в тази насока има засенчващият ефект на главата, и рупурният ефект на устната кухина. Голямо влияние има и вокалът на изпълнение. Във фронталната полусфера максимална концентрация на звук се наблюдава около 20 градуса надолу от хоризонталата. (фиг.1)

Тембърът при певческата реч притежава огромни емоционално-изразни възможности, но най-характерната особеност в честотно отношение е наличието на специфична резонантна област в спектъра, наречена певческа форманта.

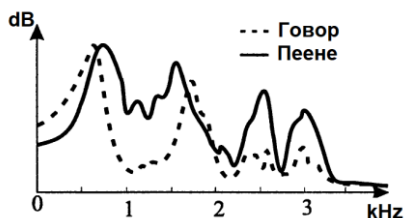


Фиг.1 Характеристика на насоченост на певчески глас

Певческа форманта. Певческият глас в класическото пеене трябва да развие значително по-високо ниво на звуково налягане от говора, за да бъде ясно чуваем на фона на оркестъра. Но увеличението на нивото само по себе си не е достатъчно за решение на проблема, затова в течение на вековното усъвършенстване на техниката на оперно пеене (т.н.

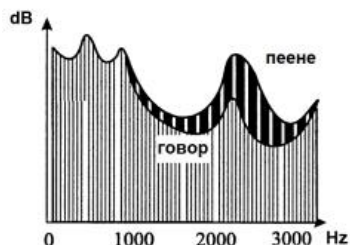
белканто) са разработени специални похвати за промяна и реструктуриране на спектралните характеристики на гласа, и по-конкретно създаване на *певческата* форманта.

При сравнение позициите на формантните честоти (резонансите на вокалния тракт) на едни и същи гласни в говорната и певческата реч, ясно се вижда, че за всички гласни положението на първата форманта се изменя минимално, втората форманта се измества надолу по честотната скала, и значително се променят позициите на трета, четвърта и пета форманта в смисъл на приближаване на техните честоти и тяхното фактическо сливане.



Фиг.3.Формантна структура на честотния спектър при говор и пеене

Анализът сочи, че обгръщащата крива бележи ясно изразен пик в областта на 2-3 кХц. Този пик се образува от сливането на трета, четвърта и пета форманта, и носи обобщеното наименование *певческа форманта*.

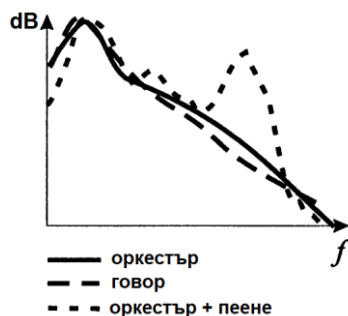


Фиг. 4. Форма на обгръщащите криви в спектъра при говор и пеене

Певческата форманта се наблюдава само в спектъра на добре школуваните гласове, по-често оперни. Централната честотна позиция на формантата се определя в зависимост от типа глас – **при басите и баритоните 2100-2500 Хц, при тенорите – 2500 – 2800 Хц, при сопраните – 3000 – 3500 Хц.**

Честотната позиция на формантата се запазва непроменена независимо от височината на изпълняваните тонове, както и при различните гласни, т.е. певческата форманта не зависи нито от основната честота, нито от позицията на другите по-ниски резонанси. При оперни певци вокалната форманта съставлява до 35% от общата енергийна емисия.

Основната причина за поява на певческата форманта е именно повишаване на разбираемостта на гласа и възможността за добра чуваемост при наличие на силни съпътстващи звукоизточници. Средното ниво на оркестър при достатъчно гръмка изпълнение е от порядъка на 90 – 100 дБ (на 10м). Създаване на подобно средно ниво на звуково налягане е далеч над възможностите на човешкия глас.

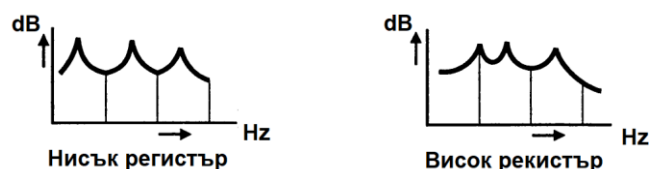


Фиг.5. Обгръщащи криви на звук на оркестър, говор, и оркестър + глас

При сравнение на концентрацията на звукова енергия като функция на честотната крива се вижда, че максималната енергия в звука на оркестъра се намира в областта 400-500 Хц, след което с повишаване на честотата нивото бързо пада, и в областта 2500 – 3000 Хц то е с 20 дБ по-ниско. Подобно е разпределението на енергията в спектъра на обикновената реч, с отчитане на по-ниските нива на гръмкаост. Наличието на певческа форманта в областта 2000 – 3000 Хц, която съвпада с максималната чувствителност на човешкия слух позволява на гласа да получи значително енергийно предимство, да се повиши пробивността и яснотата в емисията без необходимост от увеличаване на енергийния разход на гласовия източник.

Регулация на формантите. При изпълнение на високи тонове, особено за женските гласове, често не се наблюдава наличие на певческа форманта. При високите женски и мъжки гласове има друга структура на вокалния тракт, друг метод за повишаване разбираемостта и пробивността, а именно *регулация на формантите*.

При пеене основната честота се намира далеч над първата нискочестотна форманта на гласа, което налага прилагане на техника за подсилване на тази резонантна област. При по-широко разтваряне на устната кухина се получава повишение, или *регулация* на първата форманта, изместване по честотната скала нагоре с цел доближаване към честотата на изпълнявания тон.



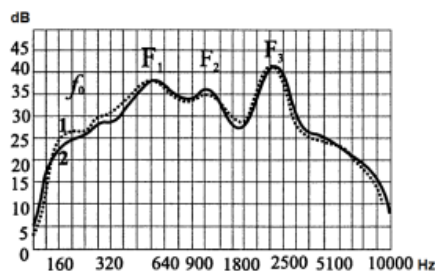
Регулация на формантите в различните регистри на женски глас

Фиг.6. Регулация на формантите в женски глас при различни регистри и различен отвор на устата

Това променя разпределението на звуковата енергия в определени диапазони и повишава разбираемостта, и увеличава звуковото налягане в основния вектор на излъчване до 28дБ.

Модификация на вокалите. Както при певческата форманта, така и при регулацията на формантите е необходимо преструктуриране на вокалния тракт – разширение на фаринкса, понижаване на ларинкса и др, което естествено влияе на двете най-ниски формантни честоти, които имат основно значение за идентификацията на вокалите (гласните звуци). Резонантната честотна структура на гласа при певческа реч оказва влияние върху разбираемостта на гласните. По тази причина се използва метод на модификация на гласните (например „у“ се заменя с „о“, „е“ често се заменя с „а“, и т.н.). Целта е да се възпроизведат вокали, чиито формантни области са по-близо до областите, които са подсилени при певческа реч с висока певческа форманта.

Статистическият спектрален анализ на голям брой певчески гласове показва, че отчетливо се откриват 3 максимума: 1. 400-600 Хц, 2. 800-1300Хц, и 3. 2100-3000Хц.



Фиг. 7. Трите силно изразени максимума в спектъра на мъжките гласове

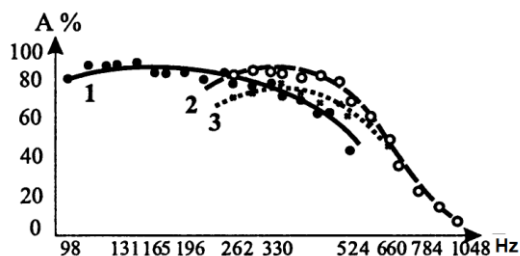
По това певческата реч се различава от спектъра на говора. Най-високо ниво достига високата певческа форманта при мъжките гласове – третата резонантна област. Първата област - ниска (първа) певческа форманта, определя мекотата и обема на гласа. Втората

област се нарича артикулационна (фонетична) форманта; тя е с по-ниско ниво, и съвпада с централната честота на вокала „А“ - 1000Хц. Не случайно при пеене всички вокали имат тенденцията за приближаване към А-тембър.

Едно от изискванията към качествения певчески глас е изравняване на тембъра, тъй като ако при пеене гласните се произнасят както при говор, то тембърът става твърде разнороден, „пъстър“ и непостоянен. Това изискване води към тенденция за изравняване на гласните и снижаване на разбираемостта.

Изменението при първите две най-ниски гласови форманти води до влошаване разбираемостта на вокалната реч, тъй като именно те са решаващи за идентификацията на звуците. Парадигмата на разбираемостта е критична и в приложението на гласа в аудио-визуалните медии, където при агресивна и неблагоприятна звукова среда „най-често страда основният звуков елемент – диалогът и неговото задължително качество – разбираемостта“ (Крачунова-Попова, 2017, *Специфика на документалното кино*).

Експериментални резултати сочат, че средната разбираемост при певческата реч спада средно до между 70 и 87% в сравнение с говорната. Диапазонът от разлики е по-голям при женските гласове – 65 – 88%, докато при мъжките гласове стойностите са 75-86,7%.



Фиг.8. Зависимост на словесна разбираемост от височината на основния тон за мъжки (1), женски (2) и детски (3) гласове

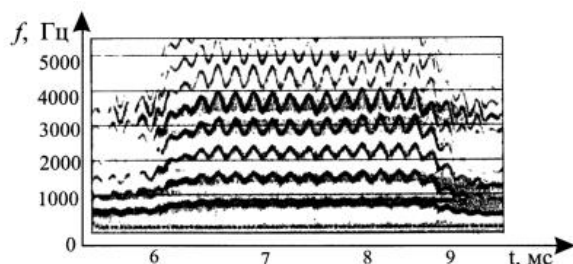
Вижда се, че областта с максимална разбираемост при мъжките гласове се намира между 110-260Хц, за женските гласове – 330-530 Хц. При повишаване на основния тон до 500Хц, разбираемостта при мъжете спада до около 50%; при женските гласове повишаването на основния тон до 1000Хц снижава драстично степента на разбираемост. Няколко са причините за това явление, като на първо място е значително повишение на честотата на основния тон, при което в слуховия обхват остават твърде малко хармоници, това променя тембъра на звуците и затруднява разпознаването. Освен това основният тон се явява над зоната основните формантни области, което предизвиква регулация на формантите по описания по-горе начин и сериозно влошава разбираемостта. На трето място наличието на певческа форманта понижава количеството звукова енергия, разпределена в по-ниските резонантни области. И накрая, но не на последно място при песенната реч има огромна разлика по отношение продължителност и ниво между гласните и съгласните звуци. Нивото на вокалите може да достигне 110-115дБ, докато съгласните звуци са от порядъка на 40-70дБ, което много често води до маскиране на съгласните.

Вибрато и тремоло. Едно от основните музикални художествени изразни средства в процеса на пеене е използването на различни видове модулация (изменение) на параметрите на звуковия сигнал. Тези изменения се възприемат като темброво обогатяване на изпълнението, придават живот, вътрешна динамика и естетическа „добавена стойност“.

Най-често в оперното пеене се използва честотна модулация, т.н. **вибрато**, в комбинация с малка амплитудна модулация. По-сериозна амплитудна модулация – **тремоло** – се прилага в други стилове като поп музиката, някои фолклорни вокални традиции, и т.н. В рок-музиката и двете почти отсъстват поради пределното напрежение на гласните връзки и естетиката на жанра.

В класическата певческа реч най-често се използва вибрато с честота 5-7Хц, и отклонение +/- 50цента.

Важна характеристика на качественото оперно вибрато е добрата периодичност (ясна ритмичност). При непрофесионалните певци много често се забелязва характерна неритмичност на вибратото, което се възприема като наустойчивост, несигурност.



Фиг. 9. Спектрограма (сонограма) на сопран при изпълнение с вибрато

Вибратото допринася преди всичко за подобряване естетическото възприятие на певческата реч, звукът има по-жив и по-интересен тембър благодарение на обогатяването на спектъра при модулацията. Съществуват и няколко обективни причини за широкото приложение на тези техники при пеене:

1. Използването на вибрато намалява изискванията за точност на фундаменталната честота, т.е. за точна интонация на тоновете. Макар че при вибратото се променя основната честота, ако честотата на самите модуляции е 6-7Хц (оптимална стойност) и отклонението е +/- 40цента, слухът възприема обобщена средна стойност на тоновата височина.
2. Използването на вибрато намалява изискванията за точна настройка на интервалите и спомага да се маскира биенето при неточна интонация, към което слухът е извънредно чувствителен.
3. Вибратото (в своята оптимална стойност 5-7Хц) подобрява възприятието на гласа на фона на съпътстващи звуци и шумове, а именно способността на гласа да пробива плътни акустични структури и да се чува ясно на фона на оркестър например.
4. Вбратото повишава разбираемостта на певческата реч, особено във високия регистър. Причината за това е периодичното колебание на обертоновете в честотно и амплитудно отношение, водещо до приближаване и отдалечаване от формантните области, което способства за по-добра идентификация на самите форманти.

Модулациите на звука при певческата реч, променящи се във времето, са характерни практически за всеки вид вокално изпълнение в една или друга степен. Те поддържат вниманието на публиката. Освен това честотата от 5-7 Хц е най-добре съгласувана с възможностите на слуха (от една страна той притежава максимална чувствителност към модуляции в тази честотна област, вероятно появила се в процеса на възприятие на речта; от друга страна именно тези честоти на модулация могат да бъдат реализирани най-лесно от мускулния апарат на човека).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Доброто познаване на акустичните специфики на певческата реч е предпоставка за качествено ѝ отразяване при звукозапис. „Възможностите за създаване на произведения с определена художествена стойност и завършеност изискват предварително изработване на цялостна концепция” (П. Стефанова, 2016). Трябва да се отчетат и субективни фактори като диапазон, индивидуална честотна характеристика и дихателна техника, в съчетание с обективните обстоятелства – реверберация, инструментален състав, естествен акустичен баланс, и не на последно място да се комбинират с муикално-естетическите критерии – епоха, автор, стил, жанр, традиция. Изцяло творчески проекти, включващи комбинация между глас и инструментална фонограма, предполагат още по-качествено звукоотнемане и професионално смесване на певческата реч, като се отчита структуриращата роля на текста. „При създаване на звукови картини преимуществено свързани с конкретно литературно

произведение би било добре да се включат не само традиционни музикални инструменти, но и алтернативни звукоизточници и синтезирани звуци“ (П. Стефанова, 2017).

REFERENCES

Aldoshina, I., Pritts, R. (2006). Musical acoustics. Composer St Petersburg.

Крачунова-Попова, В. (2017). Звукът в документалното кино. Дисертационен труд, НАТФИЗ „Кръстьо Сарафов“.

Крачунова-Попова, В. (2017). Специфика на звука в документалното кино. Симбиоза на подходите. Списание 'Кино', брой 4/2017.

Крачунова-Попова, В. (2017). 'Звуковата среда във филмите на Юлий Стоянов'. Годишник на НАТФИЗ „Кръстьо Сарафов“, 2017, стр. 225-229.

Stefanova, P. (2017). Successful practices in non-professionals music education. Proceedings of University of Ruse - 2016, volume 56, book 6.3.

Stefanova, P. (2016). Creative aspects of the process of developing a musical story. Proceedings of University of Ruse - 2016, volume 55, book 6.3.

Stefanova, P. (2019). Teaching classical music notation to students as an act of creation. Proceedings of University of Ruse - 2019, volume 58, book 6.3.

Dickreiter, M. (2003). Mikrofon-Aufnahmetechnik. Hirzel, Stuttgart.

Everest, F. A., Pohlmann, C. K. (2009). Master Handbook of Acoustics. McGraw-Hill Companies, Inc.

Meyer, J. (2009). Acoustics and the Performance of Music. Springer Science+Business Media, LLC.

<http://www.phys.unsw.edu.au/jw/voice.html#source> (September 2021).