

культурно-ідеологічних парадигм, вона дотепер залишається однією з найактуалізованіших у сучасній музикологічній думці, пов'язаній з рефлексивними аспектами самопізнання цієї наукової галузі як такої.

### Список літератури

1. Бобровский В. П. Анализ музыкальный / В. П. Бобровский // Музыкальная энциклопедия : в 6-ти т. / гл. ред. Ю. В. Келдыш. Т. 1. — М. : Сов. энциклопедия, 1974. — Стб. 139–145.
2. Консон Г. Р. Целостный анализ как универсальный метод научного познания художественных текстов (на материале музыкального искусства): монография / Г. Р. Консон. — М. : Композитор, 2010. — 352 с.
3. Корнелюк Т. А. Музыказнание как открытая система : опыт постановки проблемы: на материале отечественной музыкальной науки : дис. ... канд. искусствоведения : 17.00.02 — Музыкальное искусство / Т. А. Корнелюк. — Новосибирск, 2007. — 199 с.

*Надійшла до редколегії 12.03.2014 р.*

УДК 534.78:784.9

Ю. М. ДАНИЛЬЧИШИН

## АКУСТИКА ГОЛОСОВОГО АПАРАТУ Й АКУСТИЧНА БУДОВА ГОЛОСУ

*Аналізуються акустичні властивості співочого голосу, розглядаються проблеми, пов'язані з акустичною будовою голосу.*

**Ключові слова:** музична акустика, співочий голос, тембр.

*Анализируются акустические особенности певческого голоса, рассматриваются проблемы, связанные с акустическим построением голоса.*

**Ключевые слова:** музыкальная акустика, певческий голос, тембр.

*Analyzed the acoustic features of the singing voice, discussed the problems associated with acoustic build voice.*

**Key words:** musical acoustics, singing voice, timbre.

Професійна діяльність будь-якого художника потребує не лише професійних навичок, а й знань і розуміння технології творчого процесу, його реальних складових.

Актуальність теми визначається тим, що вона є важливою складовою розуміння акустичної будови голосу, яка передує становленню професійного співака на естраді.

**Мета** — висвітлити та проаналізувати акустичні особливості співочого голосу.

Будь-який звук — музичного інструмента чи голосу людини — можна визначити з великою точністю, оскільки звуки є фізичним явищем і розглядаються наукою — акустикою. Звук в акустиці — це поширення коливань, тобто хвиль у пружному середовищі. Оскільки йдеться про спів і мову (а людина говорить і співає в повітряному середовищі), то можна стверджувати, що звук голосу — це коливання

частинок повітря, що поширюється у вигляді хвиль концентрації та розрядження.

Співочий голос продукують голосові зв'язки людини, які, зближуючись та напружуючись, починають коливатися. Це викликає періодичні концентрації та розрядження, що виникають унаслідок підвищеного тиску повітряного потоку. Звукові хвилі, виникаючи в гортані, проходять тканинами, що оточують гортань, униз і вгору повітряними шляхами. Таким чином, вони лише частково потрапляють у зовнішній простір і, поширюючись у навколишньому середовищі співака чи промовця, досягають вуха слухача. Під час концентрації та розрядження хвилі проходять у пружному середовищі, його частинки коливаються, впливаючи на сусідні частинки. Рух повітряного середовища, якщо він не надто швидкий і не відбувається на невеликих відстанях (10–12 метрів), істотно не впливає на поширення хвиль. Невеликий вітер, навіть якщо він дме в напрямку людини, що говорить, не перешкоджає звуковим хвилям досягати вуха співрозмовника. Тільки дуже сильний вітер відносить звуки вбік. Таким чином, повітря є лише передавачем звукових коливань.

У вокальній педагогіці існує термін «озвучене дихання», яке радять «спрямовувати» в той чи інший відділ ротової порожнини. Потрібно завжди пам'ятати, що звук поширюється в повітрі за акустичними законами. Повітря ж у голосовій трубі має дещо інші аеродинамічні закони.

У голосовому апараті людини є безліч порожнин і трубок, у яких можуть розвиватися явища резонансу. Трахея, бронхи, гортань, рот, носоглотка, ніс та дрібні придаткові порожнини навколо нього мають достатньо пружні стінки для того, щоб у них виник резонанс. Одні з них за своєю формою та розмірами незмінні, отже, завжди підсилюють одні й ті ж самі обертони, створюють постійно наявні в голосі призвуки і не можуть бути спеціально пристосовані для підсилення будь-яких інших обертонів (наприклад, ніс і його придаткові порожнини). Інші легко змінюють свої форму та розміри, наприклад, ротова порожнина, глотка, надскладкова порожнина гортані, можуть використовуватися для зміни вихідного тембру, резонансно підсилюючи певні групи обертонів. Саме завдяки резонаторним явищам у спектрі голосу є «вершини», посилюються окремі обертони, сильніші за основний тон. Механізм зміни вихідного тембру не пов'язаний з вібраціями грудей, піднебіння або будь-яких частин організму, як про це іноді пишуть у старих посібниках. Зміна вихідного тембру гортані цілком залежить від резонаторних явищ, що виникають у порожнинах голосового апарату. Нині досліджено як звук, що утворюється в голосовій щілині, так і вплив на нього резонаторних порожнин.

Під час операцій на гортані було вперше вивчено, записано й акустично проаналізовано звук, що створюється безпосередньо головою щілиною. На слух він відрізняється від звичного. Насамперед,

спостерігається зміна його індивідуального тембру. Голос стає невпізнаним, «пискливим». У разі спроби вимовити різні голосні літери або слова голосова щілина видає однотонний звук.

Як відомо ще з часів Гельмгольца, кожний голосний звук містить у своїй обертоновій структурі дві основні щодо посиленої групи частот «характеристичні тони Гельмгольца», які надають змоги відрізнити один голосний звук від іншого. Ці частоти називаються формантами голосних.

Одна з груп створюється завдяки резонансу глотки, інша — ротової порожнини. Цим визначається необхідність під час переходу від одного голосного до іншого переміщати язик з однієї позиції в іншу. Язик є основним артикуляційним органом, переміщення якого створює в ротовій і глотковій порожнинах потрібні для утворення формант повітря. Саме тому неможливо в одному положенні язика вимовляти різні голосні.

Об'єми глоткової та ротової порожнин за величиною знаходяться обернено у зворотних відносинах один до іншого і змінюються під час вимов різних голосних у послідовності і-е-а-о-у. Ротова порожнина збільшується в разі переходу від голосного і до голосного у, глоткова — зменшується під час переходу від і до е, на о та у знову збільшується.

Таким чином, перехід від одного голосного до іншого є тембральною зміною звука, що виникає під час зміни резонансу ротоглоткових порожнин. Утім, кожен з нас легко розрізняє голосний чи приголосний звук, незважаючи на те, хто його вимовляє: чоловік або жінка, бас, баритон чи тенор. Така відмінність залежить не тільки від різної висоти, на якій говорять чоловіки або діти, але й від формант голосних, які в дітей та жінок за діапазоном підняті вгору. Можна також розрізнити, знайома чи незнайома людина вимовила слово. Подібні особливості тембру пов'язані з неформантними сферами спектра, тобто з усіма іншими обертонами голосу, характерними для певної людини, що й створює її індивідуальний тембр.

У людини є два механізми зміни тембру, дві можливості впливу на тембр голосу: можна змінювати, по-перше, вихідний тембр, що виникає в голосовій щілині (наприклад, грудний і фальцетний звук, жорстка чи м'яка атака звука), і, по-друге, форму та розміри резонансних порожнин на шляху руху звука від голосових складок до губ.

Аналіз спектра добре поставленого співочого голосу засвідчив, що ті його особливості, які ми добре чуємо в тембрі (металічність і блиск — з одного боку, та м'якість, округлість — з іншого), залежать від посилення в спектрі голосу відповідно двох сфер обертонів, які надають специфічності співочому тембру голосу і називаються «співочими формантами».

Пріоритет у відкритті співочих формант належить вітчизняній науці. У 1928 р. В. Казанський і С. Ржевкін визначили, що в спектрі

добре поставленого чоловічого співочого голосу завжди наявні посилені обертони із частотою 517 Гц. Ця форманта дістала назви низької співочої форманти, яка надає округлого, повного та м'якого звучання співочому голосу. Якщо цю сферу «вирізати» зі звучання голосу, відфільтрувати її, то звук «обілюється», стає спрощеним. Пізніше, в 1934 р., В. Бартоломью, працюючи на досконалішій апаратурі, виявив, що в добре поставленому голосі завжди наявні групи значно посиленних обертонів у високочастотній частині спектра. Ця сфера називається високою співочою формантою.

Для низьких голосів підсилена високочастотна сфера становить 2500–2800 Гц, для вищих — до 3200 Гц. Ця сфера, тобто висока співоча форманта, додає звуку яскравості, блиску, металічності. Від неї залежать «далекобійність», польотність звука, здатність «пробити», наприклад, оркестр.

На формування тембру може істотно вплинути носова та носоглоткова порожнини. Під час співу м'яке піднебіння опускається, звук по ротоглотковому каналу має змогу єднатися з носоглотковою порожниною та носом, при цьому набуваючи гугнявості. Широкий прохід у носоглотку створює додатковий канал, яким звук проходить у ніс. З акустичної точки зору, цей канал є своєрідним фільтром-пасткою, в якому поглинаються обертони близько 2000 Гц. Звук, з тембру якого вилучені ці обертони, сприймається як носовий. Гугнявий, носовий відтінок голосу — негативна ознака тембру, і співаки прагнуть уникати його. Підняттям м'якого піднебіння вони перекривають цей прохід, про що свідчать рентгенологічні спостереження, згідно з якими в співака під час співу м'яке піднебіння зазвичай підіймається.

Тембр співочого голосу залежить не тільки від спектральної структури звука, але й від вібрато, що надає звучанню теплоти, живості, виразності, сприймається на слух як складова тембру. Під час вивчення вібрато акустиками виявлено, що звук є якісним тоді, коли вібрація відбувається зі швидкістю 6–7 разів на секунду. Якщо пульсації менші або більші, голос стає неприємним.

Вібрато — складне явище. Згідно з дослідженнями, вібрація у звуці співочого голосу залежить від періодичної зміни всіх характеристик звука: висоти, сили та тембру, пульсуючих з однаковою частотою. Якщо грамофонну платівку або магнітофонний запис співочого голосу прослухати на вдвічі уповільненій швидкості, то можна легко почути вібрато. Голос звучатиме на октаву нижче, його тембр зміниться, а обертони змістяться на октаву нижче і чітко простежуватиметься вібрато висоти. Як виявилось, голос у процесі вібрато зазвичай змінюється за висотою на  $1/2$  тону, іноді й більше, тобто вібрає навколо середньої частоти, яку сприймаємо як основний тон.

Темброве вібрато є зміною характеру звука на одній і тій самій висоті, тобто разом із підвищенням і посиленням звука змінюється і він сам.

У різних співаків усі три типи вібрато варіюються в різних співвідношеннях: в одних превалює вібрато висоти, а вібрато сили та тембру виявляються меншою мірою, в інших — навпаки. Оскільки змінюється й частота вібрато, можна стверджувати, що існує велике розмаїття тембрів співочих голосів. Достатньо згадати голоси багатьох видатних артистів, щоб зрозуміти, що краса голосу може поєднуватися з різною якістю вібрато.

Перехід енергії тіла, що коливається, у звукові коливання повітряного середовища називається випромінюванням звука. В акустиці існує пра-вило: якість випромінювання тим якісніша, чим більша площа випромінюючої поверхні. Навпаки, в разі малих площ випромінювання невелике.

Голосовий апарат людини являє собою своєрідний рупор: над джерелом коливань — складками — розташована трубка, відкрита в зовнішнє середовище. Із тієї трубки-рупора звук, створений у голосовій щілині, досягає ротового отвору і звідси вже поширюється в зовнішній простір. Широка частина рупора — розтруб — закінчується гирлом, вихідним отвором. Далі починається вільний повітряний простір. Рот у голосовому апараті виконує роль гирла рупора. Чим більша площа отвору, тим більша енергія випромінювання, відтак чим більше відкритий рот під час фонації, тим ліпше переходить енергія в зовнішній простір. Дійсно, коли людина говорить або кричить, вона природно використовує цю закономірність. Під час негучного побутового мовлення рот трохи розкритий, під час голоснішого — більше, під час крику він розкривається максимально, а в разі бажання бути чутним на далеку відстань людина збільшує розтруб, використовуючи руки, складені у формі рупора і підставлені до рота. Усі ці звичайні, загальновідомі пристосування голосового апарату до різних умов фонації пояснюються прагненням знайти спосіб збільшити випромінювання звука. Бажаючи голосно крикнути, людина збільшує й вихідну силу звука, поліпшує його розсіювання. Однак під час співу не в усіх співаків можна спостерігати подібні особливості. Якщо в процесі співу рот узагалі відкривається більше, ніж під час звичайного мовлення, то максимальний або дуже великий ступінь його відкриття (як під час крику) майже не характерно. Деякі співаки утворюють звуки при дуже помірно відкритому роті.

У співі особливого значення набувають інші завдання — утворення красивого співочого тембру та природного формування слова, чому не завжди сприяє широко відкритий рот. У разі правильного формування співочого тембру, коли добре утворюється висока співоча форманта, голос має достатню гучність і при помірно відкритому роті. Навпаки, максимально відкритий рот може змістити гортань, несприятливо вплинути на роботу голосової щілини, перешкодити утворенню правильного співочого тембру, природній вимові слів.

Для співака головне завдання — бути добре почутим у великих приміщеннях концертних залів або сцени. Ідеально, коли голос і красивий, і потужний водночас. Однак не сила голосу, а його краса та чітка дикція — визначальні фактори в професійній діяльності. Тому міра відкриття рота не повинна перешкоджати природності слова та красі тембру.

Подібність голосового апарату до рупора має не тільки зовнішній характер. Уявімо собі дві різні форми рупора: конусоподібний, що відкривається назовні широким отвором, і такий, що на початку має широкий, а потім звужений отвір. Згідно зі спостереженнями, в другому разі звук згасає більшою мірою, ніж у першому. Крім того, малий отвір погіршує перехід звукової енергії в зовнішній простір.

Згідно з рентгенологічними спостереженнями, форма надставної трубки на одному й тому самому голосному звуці може бути в одних індивідуумів сприятливішою для виведення звукової енергії, ніж в інших.

Загальні властивості хвилеводу — надставної трубки — є здебільшого постійними для звукових хвиль. Рентгенограми свідчать, що в різних співаків конфігурація хвилеводу є різною. Слід зазначити, що у вигнутих хвилеводах звук збирається та стелиться по вигнутих поверхнях, тобто їх форма особливо важлива для поширення хвиль. У голосовому рупорі людини такими поверхнями є задня та бокова поверхні глотки, підняте м'яке піднебіння і, нарешті, тверде піднебіння. Форма твердого піднебіння незмінна, форма глотки, як свідчать спостереження, змінюється мало, повторюючи вигин шийних хребців.

Звукові хвилі, потрапляючи на перешкоду, можуть огинати її або відбиватися від неї. Дослідження засвідчили, що для низьких і середніх частот стінки ротоглоткового рупора не є відбивачами звука. Звук оточує ці поверхні, ковзає по них і, залежно від якості форми, більшою чи меншою мірою поглинається. Основні тони співочого звука, як і обертони приблизно до частоти в 2500 Гц, поширюються в голові трубі за цим законом.

Отже, вся енергія співочого звука різних частот поширюється різною мірою: частина з них обтікає, частина відбивається. Із цієї точки зору потрібно оцінювати значення піднебінного зведення у фонації. Правильно пристосовуючи м'язи ротоглоткового каналу, можна зменшити поглинання звукової енергії, збільшити відсоток її корисного виходу, що інтуїтивно й роблять багато співаків.

Звук, який випромінюється з ротового отвору, поширюється в усі сторони, як будь-які звукові хвилі. Спрямованість звука, тобто переважне поширення звукових хвиль у напрямку, за типом світлового променя, підпорядкована закону, яким визначається відбиття або обтікання перешкод хвилею. Якщо розміри випромінюючої поверхні більші за розміри довжини хвилі, звук поширюється переважно в одному напрямку. Якщо ж випромінююча поверхня більша,

ніж довжина хвилі, відбувається поширення в усі сторони без певної спрямованості.

У співочому голосі, що має складний спектр, для основного тону та низькочастотних складових з великою довжиною хвилі, розміри рота не забезпечують яскраво вираженої звукової спрямованості. Що стосується високочастотних обертонів, то тут існує яскраво виражена спрямованість, що зростає залежно від підвищення частоти обертонів. Дослідник В. Морозов, вимірюючи спрямованість випромінювання голосу співака, експериментально засвідчив: якщо для основних тонів голосу та низькочастотних обертонів звук поширюється приблизно з однаковою інтенсивністю в усі сторони, натомість для високої співочої форманти є чітко вираженою спрямованість звука вперед. У цьому разі саме спрямованість є важливою властивістю, що дозволяє співакові залежно від повороту голови спрямовувати голос у бажаному напрямку.

Особливо велика спрямованість приголосних звуків, що містять велику кількість надто високих частот, наприклад, свистячих і шиплячих — ц, сдп, чдц та ін. Це важливо знати для правильної дикції. Якісне подання го-лосних у сторону публіки забезпечує достатню зрозумілість навіть на великих відстанях.

Посилення звука в голосовому апараті відбувається не стільки завдяки збільшенню гирла розтруба, що поліпшує випромінювання, скільки завдяки створенню сприятливіших умов у роботі самої голової щілини. При порівняно невеликих витратах енергії голосових м'язів дихання в моменти достатнього протитиску може розвивати більшу енергію, створюючи звук колосальної сили.

Порівнюючи конструкцію рупорного гучномовця зі структурою голосового апарату в співі, можна помітити подібність принципів їх побудови. У рупорі патефона або гучномовця перед мембраною ставиться коробка зі звуженим виходом з неї — передрупорною камерою, роль якої — створити перед мембраною опір, який дозволить дже-релам коливань найліпшим чином віддавати енергію. Рупорний канал привносить до цієї системи протитиск, що утворює загальний опір — імпеданс.

Гортань має в кожного співака певне положення, і вхід до неї завжди звужується. Таким чином створюється своєрідна передрупорна камера, в якій може розвиватися опір. Вона залишається на всіх голосних і на всьому діапазоні незмінною.

Постановка голосу — це пошук правильного взаємозв'язку між резонуючою надставною трубкою і голосовою щілиною. У цьому разі прийнятні ті прийоми, які сприяють збільшенню імпедансу. В інших випадках зручніше менший імпеданс — широко відкритий рот і спокійна або навіть піднята гортань.

Співак має можливості підвищити гучність голосу, збільшити корисний акустичний ефект дії голосового апарату. Якщо в невеликих

межах зменшити поглинання звука всередині ротоглоткового каналу завдяки вдалому пристосуванню м'язових органів (м'якого піднебіння, глотки, мовлення), можна спрямовувати звук у потрібному напрямку.

Дослідження засвідчили, що якість польотності пов'язана з тембром голосу, а не з його силою, і це пояснюється наявністю в голосі високих обертонів. Співак із дзвінким голосом уміє формувати звук таким чином, що великий відсоток енергії концентрується у звуці в зоні високої співочої форманти. Зона кращої чутності містить ту сферу, в якій розміщуються всі мовні та співочі форманти, де слабкі звуки сприймаються як достатньо гучні.

Згідно з наведеним матеріалом можна із упевненістю констатувати, що співочий голос — надзвичайно складна система, яка потребує ретельного вивчення та опанування. Нині актуальними є проблемні питання щодо сутності акустичної будови голосу, їх вирішення та використання на практиці концертного виконавства.

#### Список літератури

1. Антонюк В. Вокальна педагогіка / В. Антонюк. — К. : ЗАТ «Віпол», 2007. — 174 с.
2. Аспелунд Д. Развитие певца и его голоса / Д. Аспелунд. — М. ; Л. : Музгиз, 1952. — 192 с.
3. Вербек-Свердстрём В. Школа раскрытия голоса / В. Вербек-Свердстрём. — М. : Evidentis, 2009. — 224 с.
4. Дашак А. Божественна природа звука / А. Дашак. — Львів : Світ, 2003. — 108 с.
5. Дмитриев Л. Основы вокальной методики / Л. Дмитриев. — М. : Музыка, 2007. — 368 с.
6. Иванов А. Искусство пения / А. Иванов. — М. : Голос-Пресс, 2008. — 220 с.
7. Карпось В. Основні положення з теорії та практики співу / В. Карпось. — Луцьк : Вежа, 1999. — 107 с.
8. Кушка Я. Методика навчання співу / Я. Кушка. — Тернопіль : Навч. кн., 2010. — 283 с.
9. Монд Л. Здоровье голоса певца / Л. Монд. — М. : Фортуна ЭЛ, 2011. — 221 с.
10. Морозов В. Биофизические основы вокальной речи / В. Морозов. — Л. : Наука, 1977. — 231 с.
11. Морозов В. Искусство резонансного пения / В. Морозов. — М. : МГК, 2008. — 589 с.
12. Назаренко И. Искусство пения / И. Назаренко. — М. : Музыка, 1968. — 622 с.
13. Юшманов В. Вокальная техника и ее парадоксы / В. Юшманов. — СПб. : ДЕАН, 2007. — 127 с.
14. Яковлев А. Физиологические закономерности певческой атаки / А. Яковлев. — Л. : Музыка, 1971. — 64 с.

*Надійшла до редколегії 17.02.2014 р.*