

**ВПЛИВ АКУСТИКО-ЕРГОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВІДКРИТИХ
І ЗАКРИТИХ ТРАДИЦІЙНИХ СОПІЛКОВИХ ІНСТРУМЕНТІВ
НА ФОРМУВАННЯ ОСНОВНОГО ТОНУ ЗВУКОРЯДУ
(на прикладі закарпатських традиційних одноцівкових аерофонів)**

Надія Ганудельова

УДК 781.1:788(477.87)

У статті здійснюється аналітичний огляд факторів впливу на формування основного тону сопілкових інструментів. Зокрема, проаналізовано специфіку розрахунку частоти основного тону відкритих флейтових аерофонів, уперше в українському етноінструментознавстві обчислено мензуру закарпатських аерофонів. Стаття відкриває можливості українського етноінструментознавства для глибшого пізнання акустичних властивостей традиційних флейтових аерофонів Закарпаття.

Ключові слова: акустика, сопілка, особливості, етноінструментознавство, флейтові аерофони.

*There is an analytical review of the factors influencing the formation of the basic tone for the pan-pipes. Specifically, analyzed are the methods of the basic tone's frequency calculation for the open flute aerophones; for the first time in the Ukrainian traditional instrumentology a **mensura** of the Transcarpathian aerophones is calculated. The article displays the hidden possibilities of the Ukrainian ethnic instrumentology for the purpose of studying the acoustic qualities of the Transcarpathian flute aerophones.*

Key words: acoustics, whistling, ethnic instruments, flute aerophones.

Звук є спільною матерією мови тварин і людей, він є також найменшою структурною одиницею музики. Звук-знак як смислова одиниця пройшов шлях від неусвідомлюваного (неінтенціонального) у спілкуванні тварин, через усвідомлення в найпростіших вербальних висловлюваннях первісної людини до вже неусвідомлюваних знаків-інтонацій у традиційній пісенності та інструментальному музикуванні.

Знак-інтонація має вплив на людину на емоційному рівні, діє на рівні підсвідомості. Така властивість звуко-смислу вироблена природою протягом тисячоліть існування живої матерії на землі ¹. Дослідженням об'єктивних фізичних закономірностей музики в її зв'язку зі сприйманням та виконанням займається дисципліна – музична акустика.

Як розділ теорії музики музична акустика за-

родилася ще у вченнях стародавніх філософів і музикантів. Так, наприклад, експериментальні дослідження Арістотеля, Евкліда, Вітрувія та А. Квінтіліана виявили коливання струни та повітряного слюпа і математично обґрунтували основні властивості коливання пружних тіл, закономірності поширення звуку тощо. Розвиток музичної акустики пов'язаний з іменами Піфагора, Арістотеля, Боеція, Ібн-Сіни, Рамоса де Парохи, Дж. Царліно, М. Мерсенна, А. Веркмейстера, Ж. Совера, Ж. Ф. Рамо, Л. Ейлера, Е. Хладні, Г. Ома та інших вчених і музикантів.

Основою музичної й фізіологічної акустики вважається праця німецького вченого фізика Г. Гельмгольца «Вчення про слухове сприйняття як фізіологічну основу теорії музики», в якій дано першу закінчену концепцію фізіології звуковисотного слуху, так звану, «резонансну теорію слуху».

Значний внесок у формування психофізіології й акустики слуху здійснили К. Штумпф та В. Келер. З їх дослідженнями в музичну акустику ввійшло вчення про механізм відображення (відчуття і сприйняття) різних об'єктивних сторін звукових коливань. Важливий етап у розвитку музичної акустики становлять дослідження радянського музикознавця й вченого-акустика М. Ґарбузова, який розробив зонну концепцію музичного слуху.

До сфери досліджень музичної акустики в ХХ ст. залучається характеристика різних музичних інструментів, а також запроваджуються методи аналізу музичних звуків за допомогою електроакустичних експериментальних вимірювань². Таким чином, можна констатувати, що музичні інструменти з давніх віків розглядалися як явища матеріальної культури та були предметом дослідження такої науки, як акустика.

Сучасний етап еволюції етномузикології вимагає якнайглибшого проникнення в сутність явищ і феноменів традиційної інструментальної культури для рельєфного окреслення її значень у навколишньому середовищі, при цьому слід залучати апарат суміжних наук – матеріалознавства, акустики, сучасних комп'ютерних технологій³.

Питання, пов'язані з дослідженнями в галузі музичної акустики розглядають у своїх працях такі вчені: М. Ґарбузов, П. Зімін, В. Порвенков, Л. Кузнецов, Є. Скучик, І. Алдошина, Р. Пріттс та інші.

Серед вітчизняних праць, присвячених акустичним особливостям традиційних аерофонів, єдиним джерелом залишається дисертація Б. Яремка «Роль виконавства у формуванні музичної традиції (на матеріалі української сопілкової музики Прикарпаття)» та низка статей цього автора.

Зазначена проблематика настільки багатомірна, що її актуальність із часом зростає. Наше дослідження спрямоване на опис коливальних процесів у флейтових аерофонах, виявлення факторів, що впливають на формування основного тону сопілкових інструментів, який можна вважати одним із формотворних особливостей локально-стильових музичних комплексів і ширше – складовою етнічного звукоідеалу.

Питання звукового ідеалу розкривається у працях Ф. Бозе, І. Мацієвського⁴, О. Ельшека⁵, М. Хая⁶, С. Утегалієвої⁷, А. Скоробагатчанко⁸ та інші. У цьому аспекті важливо відзначити спостереження М. Хая над звукоідеалом українців, до однієї зі сфер виникнення якого дослідник відносить музику пастівницької традиції⁹. Подібна ідея висувається й В. Кіселице в рамках усієї системи пастівницької музичної культури карпатських народів: «В народній естетиці флейтові інструменти знаходять глибокий відгук. Вважається, що звук флейти має магічні властивості: він може заспокоїти душу покійника, охороняти від злих духів тощо. Ці уявлення суттєво вплинули на формування етнічного звукового ідеалу, на становлення “звукового образу національного стилю”»¹⁰. Питання впливу аерофонів на формування локально-музичних стилів Закарпаття вперше піднімається у статті В. Шостака¹¹.

У закарпатській традиційній музиці побутують різноманітні інструменти групи аерофонів, які становлять собою багатий матеріал як із конструктивної, так і з акустичної та художньо-стильової точки зору. Досліджуючи народні аерофони, можна простежити етапи їх еволюції на всіх часово-просторових та структурних рівнях.

Особливістю закарпатського музичного інструментарію є те, що кожна локально-етнографічна група (закарпатські гуцули, закарпатські долиняни, закарпатські бойки та закарпатські лемки) зберегла свої характерні музичні знаряддя, відмінності між якими очевидні навіть у межах одного підвиду аерофонів. Зокрема, на

рівні морфології одноцівкових шестиотвірних закритих народних флейт спостерігається така закономірність: довжини цівок інструментів у низинних та передгірських районах коливаються в межах 500 мм. – 600 мм., а в гірських місцевостях – 350 мм. – 400 мм. Відкриті одноцівкові флейти також різняться між собою видом обробки верхнього кінця цівки – навкоси або конусоподібно.

Акустична основа архаїчного музичного інструментарію Закарпаття (відкриті та закриті флейти без грифних отворів) – телінка (Н.-S. 421.111.11), скосівка (Н.-S. 421.111.11), тілінка (Н.-S.421.111.21); відкриті флейти із грифними отворами – флюяра та фрілька (Н.-S.421.111.12); мундштучні інструменти – трембіта (Н.-S. 423.121.12), ріг (Н.-S.423.121.12), базується на застосуванні обертонового звукоряду. Вихідним пунктом утворення якого є основний тон інструмента, який є опорою певної звукорядної системи.

Формування основного тону сопілкового інструмента (відкритого та закритого) є передостаннім етапом у загальному процесі його виготовлення, тобто, після обробки цівки і її вхідного отвору (вставлення денця або іншого пристосування), майстер видобуває основний тон цівки та натуральний звукоряд перемінним відкриттям та закриттям вхідного отвору цівки вказівним пальцем правої руки. У цей момент відбувається порівняння звуковисотності інструмента із власним слуховим досвідом майстра-виконавця, який ним генетично успадкований і здобутий, а також із музично-естетичними уявленнями. При потребі здійснювалося коригування основного тону аерофона шляхом скорочення довжини цівки.

Таким чином, створюється складна система об'єктивних та суб'єктивних чинників при виготовленні традиційних сопілкових. Проблему, пов'язану з тісним взаємозв'язком акустико-звукових критеріїв та виробничої технології традиційних флейтових об'єктивно, на наш погляд, розглядає О. Ельшек, вважаючи, що їх реалізація здійснюється відповідно *звукового ідеалу* (курсив наш –Н.Г.), якому дані інструменти належать ¹².

Викладене О. Ельшеком положення побіжно підтверджується проведенням низки експериментів в умовах польових досліджень на Закарпатті. Нами було запропоновано виконав-

цю на бойківській пищалці заграти на гуцульській денцівці. Як наслідок – виконавець говорить: «інструмент не звучить», «не так звучить», «я на ньому не можу грати» та ін. Аналогічні спроби здійснювалися і в межах локально-територіальних груп українців Закарпаття – боржавських та марамороських долинян, результат експерименту був однаковий. На базі цього можна стверджувати, що виготовлення народних флейтових Закарпаття й музикування на них відбувається з дотриманням місцевих традицій.

Українці рідко зустрічаються випадки, коли майстер кардинально відходить від традиції виготовлення інструмента і створює, таким чином, новий для свого середовища інструмент. Яскравим прикладом є майстер-сопілкар із села Люта Велико-Березнянського району Закарпатської області Петро Данило, який виготовив півтораденцівку, що на бойківсько-лемківському кордоні не побутувала.

На формування нових акустичних і конструктивних ідеалів музичних інструментів впливає розширення діапазону творчих виявлень людини. Наприклад, поява грифних отворів та свисткового пристрою змінила природу звукоутворення на флейтах, відповідно, виникла суттєва різниця в тембрі, характері інтонування, у тривалості звучання та інше. Тенденція до ансамблевого музикування в художній самодіяльності спричиняла руйнування звуковисотності звукорядів традиційних аерофонів (а також, частково, хордофонів), які підлаштовувалися до академічних інструментів із рівномірно-темперованим строем. Це мотивувало майстрів пристосовувати конструкцію традиційних аерофонів відповідно до специфіки ансамблевого музикування. Так, наприклад, гуцульський майстер-сопілкар І. Данишак (м. Рахів Закарпатської області) виготовив флюяру з насадками для перестроювання інструмента ¹³.

Мігрування інструментарію, а також прагнення грати на інструменті зі зручним та технічно легким звуковидобуванням, завдяки свистковому пристосуванню, сприяло адаптації спорідненої до бойківської скосівки, румунської тілінки в окремих селах закарпатської Бойківщини (села Верхній Студений та Ізки Міжгірського району Закарпатської області), тим самим збережені традиційні функції скосівки як сольного інструмента пастівницької традиції. Питання таких

багатоаспектних зв'язків детально проаналізовано І. Мацієвським¹⁴.

Для локальних досліджень традиційного інструментарію пастівницької традиції необхідно враховувати контекст соціально-економічних явищ, географічне та функціональне поширення музичних артефактів. У цьому аспекті виникають паралелі із типологічно спорідненими музичними інструментами в культурах угорців, словаків, румун, а також такими явищами, як голосове та інструментальне бурдонування, поширення натурального звукоряду – одного з архаїчних стрів традиційних аерофонів. Усі ці чинники склали основу різноманіття акустичних параметрів закарпатських сопілкових інструментів навіть у межах одного підвиду аерофона.

Дослідимо детальніше процес звукоутворення в традиційних одноцівкових відкритих та закритих флейтах.

Основний тон на інструментах утворюється легким вдуванням повітря при закритих усіх грифних отворах (за їх наявності), яке розсікається на гострому краї цівки. При цьому відбувається тертя і зміна швидкості повітря, також виникають вихороподібні рухи, які поширюються по обидві сторони твердого тіла.

Унаслідок виникнення цих вихорів у повітряному стовпі з'являються періодичні зміни швидкості руху, та, відповідно, згущення й розрідження, що спричиняє утворення, так званих «крайових тонів» (термін Річардсона) – одних із можливих тонів натурального звукоряду. Сформована звукова хвиля розширюється по всій довжині резонатора, а досягнувши його кінця, відбивається, тобто стає «стоячою хвилею» із певним періодом коливань (з визначеною висотою тону) та чергуванням амплітудних максимумів і вузлів. Амплітуда коливань в останніх – дорівнює нулю¹⁵.

У залежності від типу цівки, стояча хвиля має свої особливості. У відкритих цівках амплітудний максимум виникає у верхньому й нижньому її кінцях, а вузол – посередині. У зв'язку з цим, відкрита лабіальна цівка дає основний тон, довжина хвилі якого дорівнює подвійній довжині резонуючої частини цівки¹⁶.

Частота основного тону відкритої цівки:

$$f = V / (2L) \quad (1),$$

де f – частота тону; V – швидкість поширення звуку в повітрі; L – довжина цівки.

Звуковидобування обертонів від основного тону досягається посиленням інтенсивності подачі повітря до цівки. При цьому повітряний стовп буде ділитися на більшу кількість відрізків, що коливатимуться в різних фазах, але на крайніх точках цівки завжди будуть амплітудні максимуми. Відповідно, частоту другого обертону можна виразити формулою:

Частота другого обертону відкритої цівки:

$$f = (2V) / (2L) \quad (2),$$

На відкриту лабіальну цівку поширюється закон, згідно якого цівка дає повний ряд обертонів від основного тону¹⁷.

У закритих цівках при утворенні основного тону виникає амплітудний максимум біля свисткового пристосування, а вузол – на кінці цівки.

Таким чином, довжина резонуючої камери цівки буде дорівнювати приблизно $\frac{1}{4}$ довжини хвилі того звуку, який відповідає її основному тону¹⁸.

Частоту основного тону такої цівки можна уявити у вигляді¹⁹:

Частота основного тону закритої цівки:

$$f = V / (4L) \quad (3),$$

При передуванні в каналі цівки утворюються додаткові повітряні «вузли», тому:

Частота третього обертону закритої цівки:

$$f = 3V / 4L \quad (4),$$

тобто закрита цівка буде утворювати лише непарні обертони від її основного тону.

Вищенаведені розрахунки повною мірою діють за, так званих, «ідеальних умов», які практично неможливі в умовах традиційного виробництва аерофонів, де акустичні закони розуміються на емпіричному рівні.

Важливу роль у коливальних процесах цівок відіграє й температура повітря. Разом із температурними кореляціями змінюється і швидкість поширення звуку в повітрі в наступній залежності²⁰:

$$V = 331,5 \sqrt{(1 + 0,00367 t^{\circ})} \quad (5),$$

де V – швидкість поширення звуку в повітрі; t° – температура повітря при $^{\circ}\text{C}$.

Акустиком В. Порвенковим наводиться така формула²¹:

$$V = 331,7 (1 + 0,0018 t^{\circ}) \text{ м/с} \quad (6),$$

Згідно з акустичними даними, середня теоретична зміна строю в залежності від тем-

ператури повітря для інструментів дерев'яної групи – 0,6–2,0 центів на 1°C, тобто цей вплив є мінімальним²².

Однак, для теоретичних розрахунків висоти основного тону аерофона важливою величиною є саме швидкість поширення звуку в повітрі, щодо якої у спеціальній літературі є ряд розходжень. Так, **Ф. А. Дрехсель у праці «Компендіум з акустики духових інструментів за В. Майоном», Лейпциг у 1927 році** за основу брали швидкість 340 м/с; О. Ельшек у монографії **«Словацькі народні сопілки»** – 344 м/с²³. Останнє число було рекомендовано використовувати для теоретичних розрахунків при виробництві духових музичних інструментів.

Окремі дослідники описують гальмівний ефект на швидкість поширення звуку всередині цівки, який створюється обмеженістю простору та шершавістю внутрішніх стінок інструмента (якщо матеріалом є дерево), а також тертям повітряного стовпа. З огляду на вищевикладене, пропонується застосування, так званої, корекції тертя, яка знижує швидкість поширення звуку в повітрі на 4.3%, відповідно, значення швидкості поширення звуку в повітрі при 14 °C – 20 °C складає 326,4 м/с²⁴. З цього погляду, викликає подив щонайменше нелогічного, на нашу думку, наведення Л. Ленгом швидкості поширення звуку при 20 °C – 326,4 м/с, оскільки швидкість поширення звуку в повітрі вже при 0 °C становить від 331,45–331,70 м/с²⁵. Таким чином, наведені розрахунки величин швидкості поширення звуку в повітрі при 20 °C коливаються від 326,4 м/с до 344 м/с.

У радянській літературі з питань музичної акустики корективів у швидкості повітря, пов'язаних з описаним явищем, не знаходимо.

На акустичні властивості аерофонів одночасно впливає ціла низка факторів, які умовно прийнято поділяти на три групи:

1. Акустичний тип цівки;
2. Технологія виготовлення інструмента;
3. Індивідуальні особливості виконавця.

Зміни у звукоутворенні в залежності від акустичного типу цівки нами частково вже розглянуто, тому зупинимось на характеристиці чинників, пов'язаних із технологією виготовлення флейтових аерофонів.

Для традиційного виробництва дерев'яних сопілок характерним явищем стає нерегулярність внутрішнього діаметра каналу цівки, оскільки

ки внутрішню поверхню майстри шліфують, переважно, ручним способом за допомогою, так званого, шомпола, що, у свою чергу, може спричинити фальшиве звучання окремих тонів. Це зрідка можна спостерігати навіть при октавному передуванні від основного тону (наприклад, а 220 Гц), коли частота другого обертону (а 440 Гц) не буде точно парною, тобто октава буде звучати вище або нижче наведеної частоти. У цьому випадку коливання повітряного стовпа в цівці стають наближеними до періодичних і виникає явище негармонічності обертонів. За спостереженнями В. Порвенкова, у випадку циліндричної цівки дерев'яного інструмента розширення каналу поблизу амплітудного максимуму стоячої хвилі будь-якого натурального тону підвищує частоту, і, навпаки, знижує частоту, якщо розширення є в ареалі вузла хвилі²⁶.

Для точних теоретичних розрахунків частоти основного тону або обертонів, чи взагалі звукоряду інструмента, виникає необхідність детального опрацювання, так званої, мензури традиційних аерофонів – сукупності розмірів повітряного каналу інструмента, який виконує роль резонатора. Складовою частиною мензури є грифні отвори та основні параметри повітряного каналу інструмента – загальна довжина каналу, діаметр вихідного отвору та інше, а також розміри тростин²⁷.

Для органологічних та ергологічних досліджень наведення параметрів мензури аерофона є вкрай важливим. У більшості праць зустрічаємо лише загальні дані щодо інструмента – довжина цівки, кількість грифних отворів, діаметр тощо. Для визначення основних параметрів тоноутворення на сопілкових аерофонах цих даних є надзвичайно мало. Для флейтових аерофонів детальні параметри мензури наводить **Б. Яремко в «Уторопських сопілкових імпровізаціях» та «Бойківській сопілковій музиці»**²⁸, до яких відносить: довжину цівки, відстань від верхнього краю цівки до середини кожного грифного отвору, відстань між одиничними грифними отворами, діаметр верхнього й нижнього кінця цівки, діаметр грифних отворів, товщину стінки цівки біля грифного отвору тощо.

Для дослідження традиційних аерофонів ми пропонуємо оперувати такими параметрами, як: загальна довжина цівки, акустична довжина цівки, довжина цівки від краю до кожного із

грифних отворів, довжина цівки від останнього грифного отвору до кінця, довжина свистка, зовнішній діаметр верхнього та нижнього кінців цівки, внутрішній діаметр верхнього та нижнього кінців цівки, товщина стінки біля грифних отворів, діаметр грифних отворів, діаметр вдувної щілини, діаметр голосника, діаметр свистка.

Диференціацію поняття мензури знаходимо у праці Г. Гейде «Флейти», що визначено як:

– Довжина й діаметр цівки в їх взаємовідношенні (у тому числі й нахил до конічності);

– Діаметр грифних отворів²⁹.

На думку О. Ельшека, мензура у вузькому розумінні є відстань між одиничними грифними отворами та їх відношенням до внутрішнього діаметра верхнього кінця цівки³⁰.

Отже, беручи за основу тлумачення поняття мензури за Г. Гейде, визначимо, що взаємовідношення між довжиною й діаметром цівки становить: у бойківських пищалках 1: 15–32; гуцульських денцівках 1: 19–22; пищалках долинян 1:22–27; у скосівках бойківських 1: 49.4–59.90; телинках гуцульських 1: 49.20–56.40; у флюрах 1: 34–52.40; у фрільках 1: 24.50–34.

Традиційні флейтові аерофони Закарпаття становлять собою циліндричні цівки із незначним нахилом до конічності. Різниця між внутрішнім діаметром верхнього й нижнього кінця цівки становить у бойківських пищалках 1: 1.1–1.30; гуцульських денцівках 1: 1.35–1.60; пищалках долинян 1: 1.35–1.71; у скосівках бойківських 1:1.06 – 1.40; телинках гуцульських 1: 0.90 – 1.38; у флюрах 1: 1.02–1.05; у фрільках 1: 0.65–1.11. Така незначна конічність сопілкового сприяє м'якості тембру інструмента, а також спричиняє відносну важкість видобування обертонів.

Фактично, ми маємо справу не із циліндричними цівками, а з нахилом до конічності, яка звужується в нижньому кінці, а в окремих випадках – розширюється. Звужену в нижньому кінці конічність мають гуцульські денцівки, пищалки бойків та долинян, які, як правило, майстри обробляли на токарних верстатах. Ми переконані, що саме така форма інструмента була надана майстрами свідомо, оскільки вимагає особливих прийомів свердління. У той же час, гуцульські фрільки мають приблизно циліндричні показники верхнього й нижнього діаметрів, а виготовляються вони з алюмінієвих цівок. Зрідка у відкритих цівках без грифних

отворів – бойківських скосівках спостерігається конічність, яка в нижньому кінці розширюється, що ми пов'язуємо із недосконалістю технології виготовлення.

У спеціальній літературі з питань музичної акустики проблематика конічності у традиційних флейтових аерофонах не розглядається. Акустичні властивості конічних каналів інструментів досліджувалися, зокрема, радянським вченим П. Зімінім на прикладах пластинкових аерофонів – саксофонів, кларнетів, гобоїв тощо. Таким чином, цей автор звукоутворення у кларнетах прирівнював до закритих лабіальних труб, а загальна довжина каналу кларнета *наближається (курсив наш — Н.Г.)* у нього до чверті довжини хвилі найнижчого утворюваного тону. Разом із тим, за акустичними властивостями конічну форму каналу гобоя П. Зімін вважає еквівалентною відкритим лабіальним трубам³¹. Таким чином, можна висловити припущення, що конічні форми каналів інструментів за акустичними властивостями є, певною мірою, проміжним варіантом між відкритими й закритими цівками. У цьому аспекті постає питання про коефіцієнти конічності для відкритих та закритих цівок.

Диференціацію конічності (**q**) для словацьких традиційних сопілок знаходимо в праці словацького акустика М. Філіпа: **2<q<2.86** – для відкритої цівки; **2.86<q<4** – для закритої цівки на вузькому кінці; **4<q** – для закритої цівки на ширшому кінці³². Тобто, при обчисленні основного тону таких інструментів співвідношення 2L або 4L, повинне бути замінено на qL конкретно для кожної цівки в залежності від ступеня її конічності.

Тип звуковідтворюючого пристосування певною мірою впливає на інтенсивність вдунання повітря в цівку. Вважається, що на скосівці, верхній край якої зрізаний навскоси, виконавець втрачає 50%–70% сили потоку повітря, що знижує основний тон, який тембрально є сиплим, «крихким», із багатьма шумовими призвуками. Як наслідок – ускладнюється процес передудання, вимагаючи при цьому підвищення інтенсивності вдунання повітря в цівку.

У закритих цівках важливу роль відіграє величина вдувної щілини: чим вона більша, тим нижча швидкість повітря в цівці. У традиційних сопілках Закарпаття середній розмір щілини становить 7 мм – 10 мм, тобто вона дуже вузь-

ка. Це може впливати на характер звуковидобування нижнього тону інструмента, оскільки збільшується швидкість розширення повітря в цівці й може утворюватися повторне передування – так продукується другий обертон.

Окрему й важливу роль відіграють і грифні отвори на цівці. Видобування основного тону сопілкового інструмента відбувається при закритих грифних отворах, які теж впливають на коливальний процес, про що у В. Порвенкова читаємо: «Закриті грифні отвори перетворюють гладкі стінки цівки в горбкуватий звукопровід, в канал із серією чергування западин і підвищень»³³. Знижуючий вплив грифних отворів на частоту тону описує П. Зімін на прикладі цівки кларнета, яка до висвердлювання грифних отворів давала основний тон на 0,5 тону вищий, ніж після їх нанесення³⁴.

Теоретично, при розрахунках основного тону флейтового аерофона із грифними отворами теж повинна вживатися корекція. Словацький етномузиколог Л. Ленг на основі емпіричних дослідів із закритою сопілкою з 6 грифними отворами (параметри: L – довжина цівки; L = 39,2 см.; D – внутрішній діаметр цівки; D = 1,3 см.; d – діаметр грифних отворів; d = 0,65 см.) корекцію всіх закритих грифних отворів визначає як 2 D (внутрішній діаметр цівки), підкреслюючи, що ця величина актуальна при співвідношенні D цівки до d грифних отворів 2:1³⁵. Очевидно, значення корекції закритих грифних отворів для інших випадків можна вирахувати через відношення (D/d) D. Ми застосуємо цю формулу для вирахування корекції грифних отворів, оскільки словацькі традиційні сопілки типологічно споріднені не тільки із закарпатськими, а їх параметри, в основному, збігаються з даними музичного інструментарію пастівницької традиції цілого Карпатського регіону.

Тембральні особливості традиційних сопілкових інструментів значною мірою залежать від матеріалу (метал, деревина, рослина тощо) та способу виготовлення. На закарпатській Бойківщині та Лемківщині майстри традиційних сопілкових інструментів використовували в якості матеріалу деревину бузини чорної (бойк. «бозник», лемк. «бзина»), груші звичайної, калини; на Гуцульщині – клен, явір, ліщину тощо. Тобто, за поділом на групи твердості, зазначена деревина належить до твердих та м'яких порід. Деревина середньої твердості (наприклад, вер-

ба) використовувалася для виготовлення, так званих, сезонних інструментів – весняних скосівок, телинок тощо.

Зважаючи на те, що ґрунтовні дослідження механічних та акустичних властивостей вищезазначених типів деревини, технології виготовлення флейтових аерофонів уже здійснені Б. Яремком³⁶, з якими наші дані, в основному, співпадають, зупинимось на характеристиці окремих факторів впливу на темброві властивості сопілкових інструментів, які не описані цим автором.

У ході експедиційних розвідок нами було отримано емпіричні дані від майстрів музичних інструментів, які мають фахову освіту з деревообробки, про те, що велике значення для акустичних властивостей деревини має також напрям зрізу. Найбільшу твердість має торцевий зріз, найменшу – радіальний. Крім того, форма грифних отворів виразно впливає на тембральну характеристику звуку, за даними респондентів, широкі грифні отвори сприяють утворенню гучного звуку, вузькі – обмежують динамічні властивості інструмента, виразно овальної форми отвори відтворюють «гострі» тони, для досягнення м'якого тембру майстри рекомендують робити «краплеподібну» форму грифних отворів або навскісну.

Техніка гри на аерофонах тісно пов'язана із фізіологічними особливостями фонічного апарату людини, створюючи складну коливальну систему взаємозв'язків. Відомими є факти, що під впливом температури повітря, яке вдувається в цівку, та індивідуальної температури рук виконавця відбувається вплив на частоту окремих тонів. Такі незначні частотні зміни досвідчений виконавець спроможний коригувати сам.

Комплексна оцінка акустичних властивостей традиційних сопілкових аерофонів, з точки зору синтезу апарату людини, конструктивних особливостей інструментів та утворенню індивідуальних музичних стилів розкривається докладно у статтях Б. Яремка³⁷. Оскільки даний аспект не входить у сферу нашого дослідження, ми лише підкреслимо відому тезу про те, що вправні музиканти на свистковій шестиотвірній сопілці, завдяки поєднанню прямої та вилкової аплікатур, значно розширюють ладово-тональні можливості інструмента.

Процес формування звуку становить складну коливальну систему, яка залежить від влас-

тивостей середовища та умов поширення звукових хвиль у ньому. Для виникнення збудження (резонування) звукового каналу інструмента необхідний, так званий, акустичний опір (імпеданс), який є комплексним і містить як активну, так і реактивну енергію. Активна енергія є величиною корисної акустичної енергії для випромінювання звуку в навколишнє середовище, реактивна складова відображає втрату енергії. При розрахунках власних резонансних частот аерофонів (найменша власна частота є основним тоном інструмента) активна складова імпедансу до уваги не береться.

Флейтові аерофони належать до подвійної акустичної системи: збудник звуку + коливальний процес у резонаторі. Тобто, з точки зору збудника звуку, вони вважаються відкритими, а, отже, явище акустичного імпедансу (опору) цієї частини інструмента не поширюється на флейтові аерофони ³⁸.

Але на цей вид аерофонів впливають акустичні імпеданси іншого характеру: опір повітряного каналу та випромінювання звуку. Приклади розрахунку акустичного опору для мундштучних і пластинкових духових інструментів знаходимо в праці **Л. Кузнєцова «Музична акустика»**, які здійснені за допомогою рівнянь із тригонометричними функціями.

При застосуванні формул, наведених у зазначеній праці, для нашого випадку виникає необхідність здійснити ряд суттєвих уточнень: описуючи циліндричний тип цівки, автор не зазначає, чи цівка поздовжня чи поперечна (ми припускаємо, що мова йде виключно про поперечну цівку, оскільки робота присвячена академічним інструментам); відсутнє поняття акустичного імпедансу закритих грифних отворів. Зрозуміло, що, не маючи чіткості в цих важливих питаннях, користування цими розрахунками практично неможливе.

Важливим для розрахунків частоти основного тону флейтових аерофонів є обчислення величини акустичного імпедансу вихідного відкритого отвору цівки. Цій проблематиці присвячено низку розрахунків, зокрема, у вже згаданій праці **Л. Кузнєцова** знаходимо формулу:

$$\Delta L = 8r^2 / (3\pi) \quad (7),$$

де ΔL – поправка на довжину повітряного каналу цівки з відкритим кінцем на вихідний її кінець; r – радіус вихідного кінця цівки.

Значення ΔL у роботах **Я. Гуревич** та

І. Крендалл ³⁹ мають такі значення: – 0,576 r^2 – 0,85 r^2 . Крім того, у відомій праці **«Музична акустика»** під ред. **М. Гарбузова** наводяться приклади розрахунку цих поправок для поперечної циліндричної цівки за В. Майоном, для відкритої труби призматичного перетину тощо. Проте, для поздовжніх відкритих та закритих цівок (якими є традиційні флейтові аерофони) – такі дані відсутні. У праці чеського фізика **Фр. Нахтікала «Технічна фізика»** для поздовжньої циліндричної цівки наводиться значення $\Delta L = 0.29-0.30D$, де D – діаметр її поперечника ⁴⁰, у **Д. Вольфа – 0.60D**, ця величина рекомендована для кларнетів та сопілок ⁴¹. Отже, значення корекції вихідного отвору цівки коливаються від 0.29D–0.85 r^2 . Ці теоретичні константи вимагають практичної апробації, у ході якої для конкретних інструментів (видів інструментів) може виникнути зовсім інший коефіцієнт. У ході наших експериментальних розрахунків частоти основного тону відкритих та закритих традиційних флейтових аерофонів Закарпаття, коефіцієнти зазначеної корекції коливалися від 0.12–0.9D.

Тому розуміння явищ акустичного імпедансу для аерофонів не є однозначним, і в працях радянських дослідників є певні розходження. Наприклад, **П. Зімін** описував акустичний імпеданс вихідного отвору для лабіальних, язичкових і мундштучних інструментів, вказав на різницю між довжиною діючого стовпа повітря в цівці і довжиною звукової хвилі її основного тону. Для відкритих цівок ця різниця складає менше половини довжини звукової хвилі основного тону, для закритих – менше ¼ довжини ⁴².

Важливим для зіставлення положень **Л. Кузнєцова** та **П. Зіміна** щодо зазначеного явища вважаємо саме аргументацію чинників виникнення імпедансу. За **П. Зімінім** це:

1. Пропорційний вплив стовпів різного поперечника на різницю між теоретичною й фактичною довжиною звукового каналу;

2. Вплив грифних отворів (відкритих та закритих);

3. Передача енергії від стоячої хвилі з обмеженого твердими стінками корпусу інструмента в необмежений об'єм повітря. При цьому відбувається часткове поглинання останнім звукової енергії разом із гальмуванням і деяким згасанням швидкості коливального руху молекул повітря ⁴³. У результаті дії цих чинників відбувається

певне зниження частоти коливань, а відповідно, і зниження висоти звуку.

Із цих ознак випливає, що в П. Зіміна під терміном «акустичний імпеданс вихідного отвору» розуміється «опір випромінювання» (за Л. Кузнєцовим), окремо виділено провідність грифних отворів. Тобто, у порівнянні з Л. Кузнєцовим, розгляд акустичного імпедансу П. Зімінім вважаємо узагальненим.

Важливим для досліджень акустичних властивостей традиційних флейтових аерофонів є акустична концепція відомого французького органного майстра А. Кавальє-Колль. У ній аргументується положення, що на відкриту з обох кінців поздовжню цівку діють 2 види корекцій – корекція лабіальна та вихідного кінця цівки⁴⁴. А. Кавальє-Колль ці види корекцій позначає таким чином:

$$K_0 = K_1 + K_2, \quad (8)$$

Звідси $\lambda/2 = L + K_0$,

де K_0 – загальна корекція; K_1 – корекція лабіальна; K_2 – корекція вихідного кінця цівки; L – довжина цівки.

Для цього типу цівки Ф. Нахтікалом наводиться лабіальна корекція у величині $1.36D$, а корекція вихідного кінця цівки $0.3D$ ⁴⁵. Таким чином, загальна корекція становить $1.66D$, що становить приблизно $(5/3)$ діаметра цівки⁴⁶.

Зважаючи на фактор дії корекції поперечника у відкритій поздовжній цівці, у кінці якої виникає амплітудний максимум, М. Філіпп та Л. Ленг, будучи прихильниками концепції А. Кавальє-Колль, вважають, що на закриті цівку цей вид корекції не поширюється, а діє лише лабіальна корекція⁴⁷.

З урахуванням зазначених корекцій, формули розрахунку основного тону набувають такий вигляд:

Частота основного тону відкритої цівки:

$$F = V / 2(L + K_0 + K_r) \quad (9),$$

де K_0 – загальна корекція; $K_0 = 1.66D$; K_r – корекція грифних отворів; $K_r = (D$ цівки $/d$ грифного отвору) D .

Частота основного тону закритої цівки:

$$F = V / 4(L + K_1 + K_r) \quad (10),$$

де K_1 – корекція нижнього кінця цівки; $K_1 = 1.36D$; K_r – корекція грифних отворів; $K_r = (D$ цівки $/d$ грифного отвору) D .

Формули за концепцією А. Кавальє-Колль апробовані в праці Л. Ленга «Словацькі народні музичні інструменти», але, на жаль, виключно

як приклади математичних розрахунків без зіставлення з реальними основними тонами інструментів.

Зовсім протилежну теорію аргументовано в фундаментальній праці Є. Скучика «Основи акустики» про те, що «кінцева поправка» характерна як для відкритих, так і для закритих труб⁴⁸.

Ми вважаємо, що на обидва типи цівки діє лабіальна й кінцева корекції, міра впливу кожної з яких залежить від форми каналу інструмента. Наприклад, у трембіти розтруб інструмента є фактичним продовженням довжини цівки, що при розрахунку основного тону обов'язково слід врахувати. Звичайно, що у відкритій цівці, форма якої наближена до циліндричної, вплив поперечника нижнього кінця цівки буде значно меншим, ніж у конічних. Вплив лабіальної корекції в закритих цівках можна аргументувати тим, що звукоутворення безпосередньо в лабіумі не відбувається, а лише розсікається на його гострому краї. Відповідно, при розрахунках величини лабіальної корекції для невеликих за розмірами цівок можна враховувати діаметр вхідного отвору. За нашими емпіричними спостереженнями, для цівок, довжиною від 470 мм., важливу роль буде відігравати довжина свистка, тобто при розрахунку частоти основного тону буде застосовуватися, так звана, «акустична довжина».

Виходячи з проаналізованого, можна стверджувати, що методологічна база сучасного стану дослідження акустичних властивостей традиційних флейтових аерофонів не охоплює всієї специфіки морфологічних особливостей інструментів і вимагає ряд суттєвих уточнень:

– Рекомендацію константи для швидкості поширення звуку в обмеженому газоподібному середовищі (мається на увазі корпус інструмента) при використанні в теоретичних розрахунках висоти основного тону аерофонів;

– Конкретизацію принципу дії та розрахунку «акустичного імпедансу» для поздовжніх відкритих і закритих цівок;

– Визначення міри впливу, зокрема, встановлення коефіцієнта корекції, затулених грифних отворів пальцями виконавця, на висоту основного тону інструмента.

Крім того, проблематика конічності каналу досліджується у вітчизняній спеціальній літературі виключно на прикладах академічних інструментів. В етномузикологічних дослідженнях

Б. Яремка підкреслюється важливість фактора конічності, що звужена в нижньому кінці, для традиційних бойківських пищалок. Здійснюючи виміри основних технічних параметрів закарпатських флейтових аерофонів, ми встановили, що цівки мають два типи конічності – звужену й розширену в нижньому кінці. Конічність безпосередньо впливає на формування основного тону інструмента, тому при розрахунках повинні вживатися відповідні коефіцієнти.

Спираючись на методологічні засади Б. Яремка, нами було запропоновано перелік сукупності параметрів традиційних флейтових аерофонів для наведення в комплексних спеціальних ергологічних та етномузикологічних дослідженнях, застосування яких можливе і при каталогізації музейних експонатів. Уперше у вітчизняній етномузикології ми провели розрахунки мензури традиційних сопілкових інструментів Закарпаття.

На основі проаналізованих джерел, ми бачимо, що представлені в акустичній літературі дослідження коливальних процесів повітря в цівках є досить неоднозначними та в багатьох моментах суперечливими, крім того, вони обмежено спрямовані не на традиційні аерофони, а, переважно, на академічні оркестрові інструменти. Формули розрахунків основного тону відкритих та закритих флейтових інструментів діють повною мірою при, так званих, «ідеальних умовах», які маловірогідні як при кустарному, так і фабричному способі виробництва традиційних аерофонів. Таким чином, розробка даної проблеми здійснена лише фрагментарно й вимагає подальших практичних досліджень та експериментів.

Акустико-ергологічні особливості відкритих і закритих традиційних флейтових аерофонів комплексно впливають на формування й відтворення основного тону, результат дії яких наперед передбачити точно майже не можливо.

Подальше вивчення цієї важливої проблеми на основі автентичних взірців традиційних аерофонів може бути суттєвим не тільки для розуміння фізико-акустичних закономірностей коливальних процесів у цівках, але й для осмислення та кращого пізнання, здебільшого, емпіричної традиції виготовлення народного інструментарію.

¹ Гурина А. В. Семантика музично-пісенного фоль-

клору (на історіографічній базі досліджень XIX–XX ст.) – Автореф. канд. дис. – Харків, 2001. //http://disser.com.ua/contents/5698.html

² Назайкинский Е. В. Акустика музыкальная // Музыкальный энциклопедический словарь. – М.: Сов. Энци., 1990. – С. 23–24.

³ Хай М. Музично-інструментальна культура українців (фольклорна традиція). – Київ-Дрогобич, 2007. – С. 15–16.

⁴ Мацневский И. Отражение специфики инструментария в музыкальной форме народных инструментальных композиций // Проблемы традиционной инструментальной музыки народов СССР. – Л., 1986. – С. 11–29.

⁵ Elschek O. Slovenské ľudové píšťaly. – Bratislava: Veda, 1991.

⁶ Хай М. Музично-інструментальна культура українців (фольклорна традиція). – Київ-Дрогобич, 2007.

⁷ Утегалиева С. Функциональный контекст музыкального мышления казахских домбристов. – Автореферат канд. дис. – Л., 1987.

⁸ Скоробагатчанка А. Народная инструментальная культура Белорусского Пазер'я. – Минск, 1997.

⁹ Хай М. Музично-інструментальна культура. – С. 240.

¹⁰ Киселице В. Открытые продольные флейты румын-молдован Буковины в системе пастушеской музыкальной культуры // Перша конференція дослідників народної музики західноукраїнських земель. – Львів, 1990. – С. 32.

¹¹ Шостак В. Традиційні музичні інструменти та формування локальних народно-музичних стилів Закарпаття // Матеріали Четвертої конференції дослідників народної музики Червононоруських та суміжних земель. – Львів, 1993. – С. 93–94.

¹² Elschek O. Slovenské ľudové píšťaly. – Bratislava: Veda, 1991. – S. 43.

¹³ Яремко Б. Етноінструментознавство. – Рівне, 2003. – С. 15.

¹⁴ Мацневский И. Отражение специфики инструментария в музыкальной форме народных инструментальных композиций // Проблемы традиционной инструментальной музыки народов СССР. – Л., 1986. – С. 14.

¹⁵ Музыкальная акустика / В. А. Багадуров, Н. А. Гарбузов, П. Н. Зимин, С. Г. Корсунский, А. А. Рождественский. – М.: Музгиз, 1954. – С. 108–111.

¹⁶ Там само. – С. 113.

¹⁷ Там само. – С. 115.

¹⁸ Там само. – С. 111.

¹⁹ Кузнецов Л. Акустика музыкальных инструментов: Справочник. – М.: Легкопромбытиздат, 1989. – С. 295.

²⁰ Кузнецов Л. Акустика. – С. 316.

²¹ Порвенков В. Точность строя и настройка духовых инструментов //http://bagpipes.narod.ru/page/sovets_1.html.

²² Кузнецов Л. Акустика... – С. 317.

²³ Elschek O. Slovenské ľudové píšťaly. – S. 133.

²⁴ Leng L. Slovenské ľudové hudobné nástroje. – Bratislava: Vydavateľstvo slovenskej akadémie vied, 1967. – S. 163.

²⁵ Кузнецов Л. Акустика... – С. 316.

²⁶ Порвенков В. Точность строя...

²⁷ Кузнецов Л. Акустика... – С. 309–311.

²⁸ Яремко Б. Етноінструментознавство. – Рівне, 2003. – С. 13; Яремко Б. Уторопські сопілкові імпровізації. – Рівне: Ліста, 1997. – С. 5.

²⁹ Heyde H. Flöten, Leipzig, 1978 // Цит. за дост. вид. Elschek O. Slovenské ľudové píšťaly... – S. 42–43.

³⁰ Elschek O. Там само.

³¹ Музыкальная акустика... – С. 132–136.

³² Filip M. – Leng L. Slovenské ľudové píšťaly // Hudobnovedné štúdie, IV. – Bratislava: Veda, 1960. – S. 73.

- ³³ Порвенков В. Точность строя...
- ³⁴ Музыкальная акустика... – С. 121.
- ³⁵ Leng L. Slovenské ľudové hudobné nástroje... – S. 169.
- ³⁶ Яремко Б. Етноінструментознавство. – Рівне, 2003. – С. 37–58.
- ³⁷ Яремко Б. Там само... – С. 133–144.
- ³⁸ Музыкальная акустика... – С. 140.
- ³⁹ Гуревич Я. О строе медных духовых инструментов // Сборник трудов /НИИМП, 1941. – Вып.3. – С. 49–68; Крендалл И. Акустика: Пер с англ. –Л., 1934 // Цит. за дост. виданням Кузнецов Л. Акустика музыкальных инструментов: Справочник. – М.: Легкопромбытиздат, 1989. – С. 295.
- ⁴⁰ Nachtikal Fr. Technicka fyzika. – Praha, 1969. – S. 236–238.
- ⁴¹ FAQ in music acoustics //http://www.phys.unsw.edu.au/jw/musFAQ.html
- ⁴² Музыкальная акустика... – С. 118–119.
- ⁴³ Там само.
- ⁴⁴ Filip M. – Leng L. Slovenské ľudové píšťaly... – S. 71.
- ⁴⁵ Nachtikal Fr. Technicka fyzika... – S. 236–238.
- ⁴⁶ Leng L. Slovenské ľudové hudobné nástroje... – S. 162; Filip M. – Leng L. Slovenské ľudové píšťaly... – S. 71.
- ⁴⁷ Filip M. – Leng L. Slovenské ľudové píšťaly... – S. 71.
- ⁴⁸ Скучик Е. Основы акустики. – М.: Мир. – 1976. – Т1. – С. 383–386.

В статье осуществлён аналитический обзор факторов влияния на формирование основного тона сопилки. Впервые в украинском искусствоведении рассчитана мензура закарпатских аэрофонов.

Ключевые слова: акустика, сопилка, звукоряд, особенности, этноинструментоведение, флейтовые аэрофоны.