

Тонаобразуване в лабиалните тръби и височина на тона.
Фалшив ли е органът на 15-ти декември?

Камен Петев

На пръв поглед в практиката на майсторите в историческите епохи изглежда че тръбите на органа са обработвани интуитивно, с постоянните елементи на откривателство. В действителност обаче, във вековете на научните открития, развитието на математиката и физиката, физическите закони, действащи в една лабиална тръба са били твърде добре познати. Органостроителите още от XVI и XVII в. са имали точна представа за величините и отношенията, с които е трябвало да се работи върху отделните видове тръби, имали са и предварителното знание какъв точно звук резултат ще постигнат и как да обработват впоследствие тръбното тяло. И тези познания идват не само от емпиричния опит, натрупан в дълбините на средните векове. Новите науки провокират една част от органите майстори да се занимават и с теория, математика и други науки, като прилагат личните си открития и теории в практиката си на органостроители. Т.е. за тях са били напълно познати всички процеси които се случват в една лабиална тръба. Конструкцията на лабиалната тръба в органа не е нищо друго освен имитация на права флейта. Можем да видим всевъзможни подобни свирки и пищялки на всеки панаир по света – всички производни от основния принцип за звуковъзбуждане чрез разцепване на насочена струя въздух.

Тази струя /или вятър/, срещайки по пътя си остър ръб, се превръща във вятърно махало с постоянно-периодично и равномерно формиране на краткотрайни вихри, предизвикващи музикален тон. По същия начин можем създадем звук вдухвайки струя върху ръба на чаша, бутилка, лист хартия или друг твърд ръб. От емпиричен опит знаем, че звукът може да бъде по-висок или по-нисък, според празното пространство в чашата между повърхността на течността и ръба ѝ. Ако сме наблюдателни ще открием, че височината на тона зависи частично и от някои други условия. Нека да се върнем към добре оформената гладка, дълга и относително тясна органова тръба.

Елементите от които е направена са три отделни метални части – цилиндър, който представлява същинската звучаща тръба; конично краче, което е всъщност успокоителна предварителна камера за вятъра, както и стойка за цялата тръба; и сърцевина – метална планка с определена дебелина, която замества дървесната сърцевина при наустника на флейтата. Трите части са запоели една за друга в познатата ни форма на органовата тръба. В същинската тръба трябва да се оформи така наречения горен лабиум. По подобен начин се оформя горния край на крачето с долен лабиум. Горният лабиум се изрязва така, че да оформи един правоъгълен отвор в основата на същинската тръба, който се нарича лабиумен разрез. Между сърцевината и долния лабиум се оформя тясно пространство, което се нарича процеп на сърцевината и най-накрая трябва да споменем отвора в долния край на крачето, през който нахлува въздухът с предварително контролирани налягане, скорост и интензитет. В горния край на тръбата остава отвор с диаметъра на тръбата, който се нарича устие. В задната част на тръбата при устието се изрязва и извира една тясна ивица, чрез която може да се променя в известни граници височината на работещата

част на тръбата. Процесите които протичат при нахлуването на вятъра представляват низ от най-фино предварително контролирани събития, определящи прецизното движение и състояние на въздушната струя до нейното излъчване в околното пространство като познатото ни физическо явление звук /музикален тон/. При навлизане в крачето вятърът увеличава скоростта си, след което се разширява в камерата на крачето, успокоява се и забавя движението си. В това именно относително спокойно „разтичащо се“ състояние вятърът попада в процепа, където отново значително се ускорява и същевременно образува въздушна струя или лента, с размерите на ширината на лабиума и с дебелината на процепа. Всъщност ширината на процепа, ширината на сърцевината в предната част и ширините на горния и долния лабиум са една и съща величина. Преминавайки между предната част на сърцевината и долния лабиум, въздушната лента се насочва с точно желаната от нас скорост и интензивност към горния лабиум, където се разцепва частично, но в по-голяма степен се отклонява заради триенето последователно пред и зад горния лабиум. Така се оформя вятърното махало, поддържано от непроменливия приток на вятъра и отклоняващо се периодично навън и навътре в тръбата около лабиума и през лабиумния разрез.

С всяко отклонение струята образува периодични кратковременни вихри в тръбата и пред лабиума. Под въздействие на създаваното строго периодично свръх- и суб- налягане в тръбата се образува въздушен стълб с постоянно трептене, чиято дължина е малко по-голяма от височината на тръбата. Това именно е така наречената стояща вълна, която предизвиква стабилния музикален тон и чрез който звукът се разпространява в околната среда. Стоящата вълна е прав вертикален стълб, който обаче има физическите качества за пластичност и еластичност на въздуха. Оттук можем да си обясним как той се формира в една пречупена L- или дори U- образна тръба, където дължината му е същата като на правия стълб, а също и трептенията се запазват със същите характеристики. Именно тези му еластично-пластични свойства дават възможност на органостроителите да изкривяват тръбите когато това е нужно за спестяване на пространство, без да се изменят съществено тембровите качества на звука. В целия този процес се оформят три вида парциални тонове. Енергийният им възбудител е вятърът, но трептенията се формират в различните тела. Едната група частични тонове идват от въздушната струя и се предизвикват от самите ѝ вихри. В природата тези парциални тонове се наблюдават /чуват/ при свистенето на вятъра, преминаващ край твърди предмети – дървета, стени, неравен терен. Вторите парциални обертонове са собствените резонансни честоти на металната тръба. Те са предизвикани от една страна като резонанс от трептенето на стоящата въздушна вълна в тръбата, респективно от периодичната смяна на фазите на налягането, а от друга страна се възбуждат още в горния лабиум, който резонира пряко от изместването на въздушната струя навън и навътре. Това резонансно явление във физиката е известно като флатер /Flutter/, заради което при силен вятър може да се усети дори треперенето на масивен мост. Всички трептения се разпространяват през лабиумния разрез пред лабиума и през устието на тръбата. При запушените тръби /гедакти/ разпространението е само през разреза, тъй като в горната част тръбата е затворена и там винаги имаме мъртва точка на въздушната вълна. Основната част на тона, който възприемаме е звукът от стоящата вълна, заедно с неговите обертонове. Резонансните парциални са относително тихи и собствените честоти на металната тръба са толкова по-високи от реалния тон, колкото по-широка е тръбата, но те оказват сериозно въздействие върху тембъра на звука. Частичните

трептения на въздушното махало са осезателно чуваеми главно в началото на звука, при въстъплението, и в едва доловим кратък период в края, при затихването. Те са зависими от трептенето на стоящата вълна, като след началното им произволно образуване постепенно, в рамките на няколко десети от секундата изравняват кратните си честоти с тези на основния въздушен стълб в тръбата. Както вече казахме стоящата вълна в тръбата е основният носител на звука. Тя представлява добре обяснената във физиката звукова вълна, с основните ѝ характеристики –

- a) дължината на пълната фаза на вълната
- b) честотата – броя на трептенията за единица време. За човешкото ухо това е между 16 Hz и 20 000 Hz.
- c) амплитудата - отклонението от средното положение определящо силата на звука /гръмкостта/
- d) обертоновете – кои и какви частични трептения има в рамките на една фаза и какви са амплитудите им. Това представлява всъщност тембъра на звука.

Нека да уточним накратко, че звуковите вълни биват два вида според начина си на разпространение в околната среда. Трансверсалните вълни са тези които се разпространяват перпендикулярно на трептенето на стоящата вълна. Такива са например кръговите вълни които виждаме, когато пуснем камъче във водата. Лонгитудиналните вълни се разпространяват успоредно на трептенето на вълната и носят относително по-голяма звукова енергия. Като пример за тях обикновено се дават тласъците във въздуха на едно часовниково махало от двете страни на размаха. Може нагледно да споменем също последователните кръгове дим от индиански огън. В практиката на музикалните инструменти трансверсални вълни са тези при струнните, а при духовите и ударните са преобладаващо лонгитудинални. Типично лонгитудинални са вълните и в лабиалните тръби на органа.

Съществен познавателен елемент в отворените тръби е фактът, че в тях се образува вълна с дължина малко повече от два пъти дължината на самото физическо тяло на тръбата. Т.е. за да създадем звукова вълна с определена височина, трябва да построим тръба с половината дължина, като в нея ще се формира една четвърт от едната фаза и една четвърт от следващата фаза на трептене. Приблизително в средата на тръбата остава винаги възел или мъртва точка, където въздушните частици не трептят. Същевременно в началото на тръбата /при разреза/ и в края /при устието/ имаме двата противоположни максимума от фазата на трептене. Трептящата горна част на стоящата вълна не спира при ръба на устието на тръбата, а излиза малко извън него. Това е мястото, чрез което трептенията се разпространяват в околната среда, така както се получава и в другия край на вълната – при лабиума. В затворените тръби мъртвата точка /възелът/ е изместен в горния край, където има съпротивление чрез триенето в капачето на тръбата. В този случай горната четвърт от фазата изчезва и в гедакта трепти вълна само с четвъртинка от фазата си и с това дължината на вълната на звука става два пъти по-голяма. Това е причината запушените тръби да звучат с една октава по-ниско от отворените, със същата дължина /височина/. Следва естественият въпрос „с колко излиза над устието на тръбата стоящата вълна?“ Емпирично е установено от френския органостроител Aristide Cavaillé-Coll /1811-1899/, че това разстояние е $5/3$ от диаметъра на тръбата. Френският теоретик и органостроител

Dom Vèdos de Celles /1709-1779/ е изчислил, че трептящата вълна излиза над тръбата точно 2 пъти разстоянието от средата на сърцевинния процеп до задната стена на тръбата. От тази зависимост можем веднага да разберем следното: колкото по-широка е една тръба, толкова по-дълга вълна създава, респективно – по-нисък тон.

Дотук разгледахме структурата на звукообразуването в една лабиална тръба. Нека сега да се занимаем с височината на тона, който чуваме. Човешкото ухо възприема тази височина според честотата на трептенията във времето, с която звуковите вълни достигат до ухото ни. Тя се измерва с единицата херц /Hz/, означаваща брой трептения за една секунда. От 1955 г. Международната организация по стандартизиране /ISO/ приема официален стандарт $a_{1-1} = 440\text{Hz}$. По общо споразумение за барокова музика се приема височина $a_1 = 415\text{Hz}$, а неофициално за концертните рояли се използва $a_1 = 442\text{Hz}$. Честотата на трептенията на звуковите вълни е в пряка зависимост от скоростта, с която те се придвижват в околната среда. Това означава, че за да преминат с определена скорост за 1 сек. през дадена точка, да речем 440 трептения, те имат определена дължина в пространството – дължина на единичната вълна. От друга страна, скоростта на звука във въздуха е силно зависима от температурата му. При 0°C на морското ниво, атмосферен въздух, скоростта на звука е 331 м/сек. При 15°C скоростта е 340 м/сек, а при 20°C – 343 м/сек. За сравнение – при водата скоростта на звука е ок. 1484 м/сек, т.е. 4,3 пъти по-голяма. Очевидно разполагаме с проста формула за намирането на вълновата дължина.

Ако означим вълната L , честотата на трептене - h и скоростта на звука – c , то при 20°C ще имаме $c/h = 340/440 = 0.773$ м – дължина на вълната за тона a_1 . /При разликата на скоростта във вода, можем лесно да си обясним защо сравнително големите морски животни могат да издават ултразвук/. Споменахме че отворената органична тръба има само половината от дължината на вълната, т.е. $0,773/2 \approx 0,382$ м. или 38,2 см. Остава да се направи корекция на устието на тръбата, като извадим от получената дължина $5/3$ от проектната ѝ ширина. С последното изчисление вече имаме теоретичната дължина на лабиалната тръба, като имаме пред вид само същинската част, без крачето на тръбата. Ако изчислението е за запушена тръба, то нейната височина е $1/4$ от вълната, т.е. $38,2/2 = 19,1$ см. за същия тон. Всички разяснения до сега ни водят към един изключително съществен извод, а именно – органът е извънредно зависим от температурата на околната въздушна среда. Това е единственият музикален инструмент, който създава звук със стояща звукова вълна, възбудена от енергията на собствената си въздушна струя, механично задвижена и идваща от атмосферната среда. Във всички останали инструменти има налице твърда трептяща повърхност като постоянен или затихващ възбудител, който трепти със собствени резонансни характеристики. Изключение правят единствено флейтите и медните духови инструменти, също формиращи въздушна стояща вълна. Но за разлика от органа въздухът, създаващ трептящата вълна и носещ енергията идва от белите дробове на човека, а не пряко от атмосферата. Независимо от външната температура този въздух е с почти непроменлива температурна стойност. За доказателство може да бъде попитан всеки духов инструменталист как се свири, когато човек е с температура. От практиката ни е известно, че при повишаване на атмосферната температура целият строй на лабиалните се повишава. Това естествено е следствие от повишаването скоростта на звука.

Теоретичните изчисления показват, че на всеки 1°C покачване на температурата, a_1 се повишава с 0,76Hz. Точната промяна в действителност не е праволинейна, а също както промяната на скоростта на звука върви по експоненциална крива. Въпреки това за практически нужди, както и емпиричният опит подсказва, с достатъчна точност може да се използва горната стойност от 0,76Hz. При езиковите тръби, обаче, възбудителят на звуковите вълни е металното езиче. То има собствена реакция на повишаване на температурата, като се разширява според физическите свойства на метала и геометрията си. Вследствие увеличаването на обема, дължината и кривината му, езичето понижава тона с покачване на температурата. Като резултат, при всяка промяна на температурата лабиалните и езиковите регистри изменят тона си противоположно, с което едни спрямо други се разфалшивят. Този проблем се решава като езиковите се „донастройват“, а това е лека и сравнително бърза операция. Настройване на лабиалните на всяко температурно изменение е невъзможно, тъй като е дълга, прецизна и в известен смисъл нежелана операция. Повишаването на честотата на звука при лабиалните не означава промяна на интервалите между тоновете на отделните тръби. Да разгледаме още веднъж горната формула за дължина на вълната. Ако имаме два тона на интервал примерно 3:2 /квинта/, то техните честоти се отнасят една към друга в това съотношение. Тогава честотата на единия тон към честота на другия тон, изразено чрез скоростта на звука и височината на тръбата, се отнасят: $c/L_1 : c/L_2 = 3:2$. Ясно е, че интервалът не зависи от промяната на скоростта на звука, а само от отношението на височините между тръбните тела. Колкото и да се повишава или понижава температурата, респективно – да се променя скоростта на звука, то общият строй на лабиалните ще се изменя без да се променят интерваловите съотношения. Проблемът с промяната на интервалите ще бъде разгледан по-детайлно малко по-надолу. Сега бих искал да се разгледаме важната за българските условия дилема:

Изменението на височината на a_1 . В европейската органична традиция органът звучи относително високо. Практиката за настройване е върху $a_1 = 440\text{Hz}$ при 15°C. При нашите условия болшинството органи са поставени в нормално отоплени концертни зали, с концертна температура около 21°C. Тези условия от 6° разлика водят до следното повишаване на строя: $0,76 \times 6 = 4,56 + 440 = 444,56\text{Hz}$ – височина на горната допустима граница и дори невъзможна за много музикални инструменти, особено за флейта, обой, фагот, тромпет. В немалко случаи имаме и още по-високи температури, когато органът не може да свири в никакъв ансамбъл, а дори и певците изпитват прекомерно напрежение. Да не говорим за органични ансамбли с клавир или симфонични оркестри. В други случаи уредниците на зали не могат по една или друга причина да климатизират звуковата среда, температурите стават екстремно високи или ниски. Бил съм свидетел на условия, при които a_1 звучи с над 448Hz /27°C/, или температури под 12°C. В моята практика ми се е налагало да прибегвам и до следния прием: след като управителите отказват да подготвят условията час и половина преди концерта, налага ми се да настройвам езиковите регистри в последния момент, при около 1,5 – 2°C по-ниска температура. Тогава големите тръби се настройват точно към лабиалните, средните съвсем леко по-високо и колкото по-нагоре се настройва, толкова по-голяма разлика се оставя между лабиалната и езиковата тръба, така че в началото на концерта, при стабилизирана температура, всички трябва да звучат добре настроени. Във всички случаи когато се поръчва строежа на един орган, трябва да се обмисли добре още в договора каква височина на тона се предвижда, тъй като от него зависи още началното проектиране.

Практиката на „високо ла“ не е случайна, тъй като в тази област органът звучи най-светло, жизнерадостно и приветливо. При по-ниско звучене общият тембър става малко по малко по-тържествен, но тъмен, философски и замислен. Нужно е ясното предварително знание как и каква работна температура ще бъде предоставена в залата, в какви ансамбли ще участва инструментът и да се намери най-добрата височина, без тембърът да потъмнява прекалено. След това е извънредно важно основното настройване да бъде при точната „концертна“ температура, и то стабилно непроменена до края на настройването.

От физиката ни е известна реакцията на материалите с разширение при увеличаването на температурата. Както всички различни типове, така и различните сплави имат свой коефициент на топлинно линейно разширение. На следния адрес в интернет може да се направи справка за коефициентите на някои метални сплави, включително калаените <http://www.handyharmancanada.com/TheBrazingBook/comparis.htm> . Тук няма да разглеждаме подробно физическите величини на реакцията на органите тръби, но е важно да разгледаме резултата от топлинното разширение. При затопляне на метала тръбата очевидно увеличава обема си, като най-голямата реакция е в нейното удължаване /или увеличение на височината/. Освен това тръбата се разширява в диаметър, а също така се увеличават всички отвори в нея. За сравнение можем да кажем, че относително голямото надлъжно разширяване е от порядъка на 0,55 мм за тръбата на a1 от Prinzipal за всеки градус. Когато разгледаме възможното влияние на разширението /или стеснението/, ще открием че има няколко противоположни зависимости. Изхождайки от методите и принципите на интонирание на всяка тръба, тенденциите към допълнително повишаване на тона от топлинната деформация идват от:

- a) разширяване на отвора на крачето, което води до увеличаване потока на вятъра, интензитета и респективно има, макар и незначително влияние върху повишаване на тона
- b) увеличаването на ширината на лабиумите повишава тона минимално, но доловимо ;
- c) при разширението си тръбата намалява разстоянието между горния и долния лабиум, с което се понижава лабиумния разрез и това има принципно значително отражение за повишаване на тона

а тенденциите към понижаване идват от следните деформационни изменения:

- d) удължаването на тръбата, макар и с незабележима стойност, води естествено до понижаване на тона
- e) увеличаване диаметъра на тръбата – според разясненията по-горе при корекция на устието, тя зависи именно от диаметъра $/ 5/3d /$, т.е. височината на стоящата вълна се увеличава
- f) при разширението си сърцевината се приближава до долния лабиум, с което намалява ширината на процепа и това може да окаже минимално влияние с намаляване на интензивността и понижаване на тона

Тези шест елемента играят в различна степен роля в промяна височината на тона и както виждаме те са 3+3 взаимно противоположни. Въпреки че сами по себе си всички те не водят до осезаема промяна в отношенията между тръбите, при настъпването на големи топлинни промени могат да окажат въздействие върху взаимността на тоновете

интервали. В различните регистри отношенията или мензурите в отделните елементи са различни, така че всеки регистър има своята степен на реакция към деформациите. Практиката при работа с металните тръби показва, че повишаването на температурата само на метала, без повишаване на въздушната температура, води до доста чувствително повишаване на тона на съответната тръба. Това предполага, че би трябвало вследствие по-високата температура металната тръба да повишава тона си сумарно: от скоростта на звука и от температурата на физическото тяло. В действителност при по-висока температура на метала се повишават собствените му резонансни честоти, така те звучат в конфликт със звука, възбуден от вятър с по-ниска температура. Доказателство е фактът, че теоретичният коефициент от 0,76 Hz на всеки градус се потвърждава практически, без да се пресмятат сумарните тонови повишения. Едно друго косвено доказателство за диференцирането на обертоновете на основния тон и парциалните резонансни на металната тръба е куриозният на пръв поглед ефект, при докосване с ръка на металната тръба или при лека деформация на метала, можем да чуем как тонът на една единствена тръба е фалшив /ненастроен/ сам със себе си. Интервалите в един регистър имат минимално отклонение, при което може да бъде изгубена абсолютната чистота на един прецизен интервал, като да речем чиста голяма терца или темперирани квинта и т.н. И то само вследствие различния коефициент на топлинно въздействие върху тръбите с различни размери. /Малките тръби повишават относително повече тона си./ По-голямо значение има ролята на запушените тръби, при които реакцията в дължината на тръбата се отразява не двойно, а четворно на дължината на звуковата вълна. От другата страна са дървените тръби, които нямат почти никаква топлинна деформация в следствие температурните разлики. Интервалови неточности могат да се усетят при сравнение между метален и дървен регистър, както казахме вече, поради нееднаквостта на топлинната деформация, при което дървените теоретично търпят по-малко повишаване на тона. При всички тези сравнения имаме осезаемо непрецизно отношение преди всичко на унисоните между регистрите. Дотолкова, доколкото като че ли унисонът се „разширява“, без да е очевидно фалшив. Но дори и минимални изменения могат за се усетят едва при отклонение $4 - 5^\circ$ от температурата, при която е бил настроен инструментът. Понякога се случва само отделен случаен тон да ни се стори леко неточен и това е когато сме имали рязка промяна в температурата и отделни полузапушени тръби получат кратковременна несъразмерна деформация.

Всички тези емпирични наблюдения и разсъждения обясняват случаите, когато с голяма промяна на обичайната температура, въпреки ясната физическа формула, откриваме „непрецизни“ интервалови отношения, макар и да не можем да кажем, че органът е фалшив. Прослушвайки интервалите ще установим, че те са в рамките на допустимата точност и въпреки всичко понякога си казваме: „Настроен е органът, но през лятото звучеше иначе...“ По един или друг начин, органът винаги претърпява сезонни изменения в механиката си, а също и в геометричното състояние на отделните детайли, участващи в процеса на свирене или пряко в звученето. Дилемата „лято или зима“ носи една обективно предизвикана осезаемост не толкова дали е настроен, а колко добре звучи строят в дадения момент. А той във всички случаи не е по-зле от едно чембало да речем, което е абсолютно чисто първите двадесет минути от концерта. Или пък от арфата. За тези инструменти някои на шега казват „настроени докато някой отвори вратата“. Но аз бих подчертал, че именно тази зависимост от околната атмосфера прави органът жив инструмент, със собствена индивидуалност.