

FRI-ONLINE-1-AS-02

GENERAL ACOUSTIC FEATURES OF WOOD WIND INSTRUMENTS ²⁸

Assoc. Prof. Pavel Stefanov, PhD

Department of Soundengineering and Sounddesign,
National Academy of Music "Prof. Pancho Vladigerov" – Sofia

Phone: 0896-820 471

E-mail: pavel_stfnv@mail.bg

***Abstract:** The paper reviews some of the inherent features of wood wind musical instruments. Some acoustic phenomena related to the way that sound is generated and radiated by wood winds, such as standing wave and resonance, are considered too. The acoustic features of wood wind instruments are of critical significance by the process of recording and reinforcement in order to achieve maximum sound quality. Knowledge of pollar pattern, frequency and dynamic range is very important for any sound engineer, composer or conductor. The main goal of this article is to help anyone who is interested in knowing and understanding better the acoustic features of wood wind instruments.*

***Keywords:** Wood wind instruments, Sound Recording, Acoustic Features, Resonance, Standing Wave.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Дървени духови инструменти се нарича група от музикални инструменти, използващи въздух като основен резонатор за възпроизвеждане на звук, и имащи общи белези в смисъл на устройство и начин на свирене. Наименованието „дървени“ е условно, като се отнася не конкретно към материала на изработване на настоящите представители, а към факта на общите характеристики в акустично и генеалогично отношение. В настоящата статия под дървени духови ще се разбира главно основните представители, утвърдени в състава на симфоничния оркестър.

Това са едни от най-древните музикални обекти, създадени от човечеството, като прототипи на духови се откриват още в епохата на палеолита. Именно през каменната епоха се оформят постепенно три групи духови инструменти – флейтови, езичкови и мундщучни. От първите два вида произлизат съвременните дървени духови инструменти – лабиалните, с основен представител семейството на флейтите, и лингвалните – семействата на обои, фаготи, кларинети, саксофони, и т.н. Процесът на еволюция и усъвършенстване отнема хилядолетия до окончателното утвърждаване на настоящите инструменти. Отделните семейства инструменти се състоят от различни по големина варианти на един и същ основен представител, като всяка разновидност има свое наименование, теситура, акустични, изпълнителски и художествени особености.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Разясняването на общите звукови белези на дървените духови инструменти налага необходимостта от определени акустични референции. Явленията стояща вълна и резонанс са от особено значение на звукообразуването при дървени духови. Духовите инструменти използват като трептящо тяло дълъг и тънък въздушен стълб, затворен в обема на корпуса (тръбата). Осцилацията на въздуха в тялото на инструмента образува стояща вълна – устойчив в пространството модел на трептене със стационарни върхове и възли. Стояща вълна по правило се образува при наличие на звук между две успоредни отразяващи повърхности когато разстоянието между тях е равно на $\frac{1}{2}$ от дължината на звуковата вълна,

28 Докладът е представен на конференция на Русенския университет на 13 ноември 2020 г. в секция Езикознание, литературознание и изкуствознание с оригинално заглавие на български език: ОБЩИ АКУСТИЧНИ ОСОБЕНОСТИ НА ДЪРВЕНИ ДУХОВИ ИНСТРУМЕНТИ.

или ератно на тази стойност. В случая с духовите инструменти това са точките на подаване на въздух в инструмента (мурдшук, лабиум, и т.н.) и устието на инструмента.

Причината за наличие на звук в корпуса на духовите инструменти е явлението резонанс. Резонанс се дефинира като особен случай на принудени периодични трептения, при който честотата на принуждаваща външна осцилаторна сила съвпада със собствената честота на трептене на дадена система. При това съвпадение амплитудата на принудени трептения достига максимална величина, като задължително условие е наличието на външна сила. При въздушния стълб на духовите инструменти подобен резонанс възниква във връзка с физическите параметри на тръбата – форма, големина, дължина, диаметър, материал, устройство. Поредните резонанси, възникващи в корпуса, репрезентират хармоничните тонове от натуралния звукоред.

Дължината и формата на тялото при духовите инструменти определя основната честота (най-ниския тон), както и състава на хармоничния спектър на звука. Зависимостта между дължината и честотата е правопрпорционална, като конкретната стойност се определя от вида и формата на тръбата. При дървени духови инструменти има три вида тръби от акустична гледна точка – отворени цилиндрични, затворени цилиндрични, и конични. При отворена цилиндрична лабиална тръба (в лицето на семейство флейти) дължината на корпуса е $\frac{1}{2}$ от дължината на звуковата вълна на честотата на основния тон, и инструмента е в състояние да генерира всички поредни хармоници. Същите са характеристиките и на коничните лингвални тръби (семействата на обои, фаготи, саксофони), независимо от разликите във формата и звукопроизводството. При затворена цилиндрична лингвална тръба дължината на корпуса е $\frac{1}{4}$ от дължината на звуковата вълна на честотата на основния тон, и инструмента е в състояние да генерира само нечетни хармоници (семейството на кларинетите).

Генератор на трептене при дървените духови се явява физическо препятствие пред подадената от изпълнителя струя въздух. Това препятствие създава вихрови осцилаторни движения на въздушните молекули, които на свой ред предизвикват трептене на въздуха в тялото на инструмента. При лабиалните инструменти (флейти) въздушната струя се насочва към остър ръб, в който се разбива и генерира периодични вихрови колебания. При лингвалните инструменти ролята на контролираща осцилаторна клапа се изпълнява от единична тръстикова пластина – платък (кларинети, саксофони), или двойна тръстикова пластина - стройка (обои, фаготи). Свойствата и параметрите на тези пластини оказват много сериозно влияние върху звукоизвличането, качеството и спектралния състав на звука.

Промяната на височината на звука – т.е. изпълнението на различни тонове – при дървените духови инструменти се осъществява по два начина – посредством звукови отворстия (клапи), и с помощта на „пренадуване“. Звуковите отворстия се намират на точно определени места по корпуса на инструмента. Тяхното откриване и закриване скъсява и удължава дължината на въздушния стълб в тръбата и съответно променя височината на изпълнявания тон. При затворени всички клапи инструментът възпроизвежда своя най-нисък тон, т.е. въздушния стълб трепти с цялата си максимална дължина и изпълнява основния тон. Понастоящем повечето от семействата на дървени духови (с изключение на фаготите) имат подобен клапен механизъм за управление на звуковите отворстия, състоящ се от лостчета, пружини и дискове, създаден на база разработките на Теобалд Бьом от 40-те години на 19 век.

Пренадуването представлява контролирано повишаване интензивността на подадената въздушна струя, намаляване на диаметъра на струята, и увеличаване напрежението на устните на изпълнителя. Това довежда до разделяне на въздушния стълб в корпуса на повече конкамерации, или реално до извличане на хармоници от по-висок порядък, като зависимостта между интензитета на въздуха (напрежението и скоростта) и височината на тона е правопрпорционална. От същия порядък е и отношението между мензурата на корпуса и височестотните хармоници – при по-тесен и по-дълъг корпус се привилегирват

високочестотните резонанси и по-лесното разделянето на въздушния стълб на повече конкамерации за сметка на извличането на основния тон.

Музикалният звук има времева природа, той възниква и се развива като процес с три етапа на съществуване, притежаващи конкретни характерни особености. Когато на една трептяща система се прилага периодична външна сила с определена честота, процесите на трептене стават значително по-сложни от вибрацията със собствена честота на системата. В началния момент от време тялото започва да трепти със собствената си честота, тези трептения постепенно затихват, и се установяват трептения с честота на външната принуждаваща сила. Този период на насладване на собствени и принудени трептения се нарича *атака на звука или зазвучаване*. След не много дълъг период от време (в рамките до 400 ms за музикалните инструменти) в трептящата система се установяват принудени периодични трептения, чиято честота съвпада с честотата на въздействащата сила. Тези трептения продължават до тогава, докато действа силата, която постоянно внася енергия в системата и компенсира загубите при движението на механичните тела. Това довежда до вибрация на системата с *принудени стационарни трептения*, а периодът на тяхното съществуване е известен като *стационарен или квазистационарен процес*. Последният етап от протичане то на музикалния тон, когато външната сила прекрати своето въздействие, трептенията в системата започват да затихват с честотата на собствените трептения. Този период се нарича *затихване или отзвучаване*. Амплитудно-честотните параметри на всеки от тези три етапа са уникални за всеки инструмент и детерминират неговия неповторим акустичен отпечатък. Етапите на зазвучаване и отзвучаване се обединяват под общото название *преходни процеси*.

Основните акустични особености на всеки музикален инструмент се определят от физическите параметри и пространственото поведение на излъчвания от тях звук. Те могат да се обобщят в няколко категории, описващи отделни аспекти на акустичното присъствие – преходни процеси на тоновете, честотна характеристика, динамика, характеристика на насоченост на инструмента. Макар и демонстриращи значителни различия помежду си дървените духови позволяват извеждане на определени сходства във фоничните качества на отделните представители.

Преходните процеси на дървени духови са подобни при повечето представители. Зазвучаването с изключение на флейтата има продължителност между 10 и 50 ms, което прави звуковата атака значително по-ясна и прецизна в сравнение със струнните инструменти. Характерно е спазване на това правило за почти всички инструменти независимо от теситура и регистър. Единствено голямата флейта показва отклонение, дължащо се на начина на звукообразуване: в нисък регистър зазвучаването при флейтата може да бъде около и над 150 ms, съответно атаката става по-мека. При флейтата следва да се отбележи и друга важна особеност на началния преходен процес – много отчетлив и сравнително силен форлойфер, възникващ по-рано от основния тон, и имащ важно значение за ялната артикулация и общото тонално впечатление. Отзвучаването на дървените духови инструменти е изключително кратко – от порядъка 100 до 200 ms (до 400 ms за най-ниските разновидности), което се дължи на големите енергийни загуби в процеса на трептене, както и на ниската инерционност на въздуха.

Един от най-характерните белези в звука на всеки музикален инструмент е наличието на характерни индивидуални шумови съставки. Устойчивите трептения не възникват изведнъж – в началния момент от време в периода на атака се наблюдават сложни процеси на взаимодействие между свободни и принудени трептения. Те зависят от началните условия при които започва трептенето, от отношението между собствените честоти и честотата на принудените осцилации, както и от степента на затихване в системата. В сравнение със струнните инструменти шумовите съставки на дървените духови са сравнително тихи, като единственото изключение отново представлява флейтата. При нея присъстват два различни шумови компонента, първият от които е шум от въздуха с широк честотен профил и постоянен интензитет, обусловен от начина на звукообразуване. Освен него във флейтовия

звук се наблюдават псевдо тонални шумови съставни, характерни за пренадутите тонове от среден и висок регистър, и имащи по-ниска от честота възпроизвеждания тон.

Тоновият обхват на дървените духови се простира между 2 и 3 октави в зависимост от инструмента и не на последно място от индивидуалните възможности на изпълнителя. Докато ниската граница на звукореда е рамкирана от акустичните параметри на корпуса, във висок регистър обхвата на всеки дървен духов инструмент се определя от изпълнителското майсторство и (на второ място) от техническите качества на инструмента. В групата на дървени духови влизат и граничните инструменти по отношение на целия музикален звукоред. Контрафаготът е въобще най-ниския инструмент в оркестъра, а флейта пиколо – най-високия.

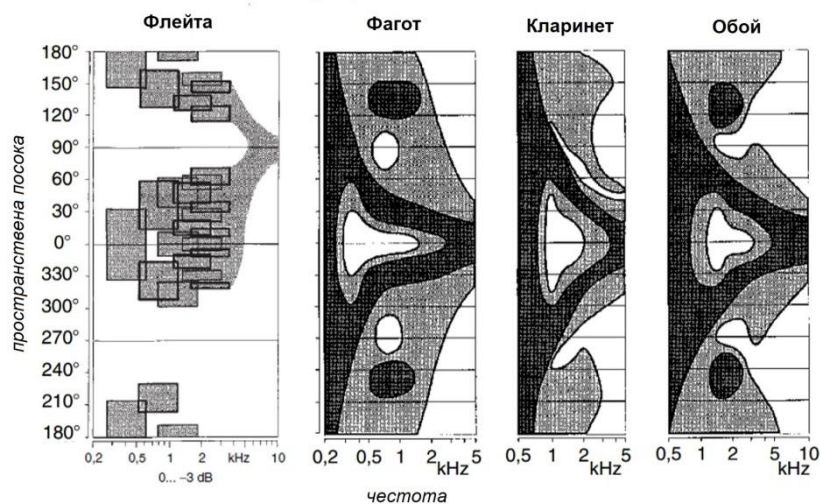
Честотният спектър на дървените духови инструменти обхваща честоти до около 10 000 Hz. Единствено флейтата се явява отново изключение, тя има значително по-тесен спектър – до 6000 - 8000 Hz. При нея първият хармоник (основния тон) е най-силен по протежение на почти целия тонов обхват, докато при повечето останали инструменти с най-високо ниво в нисък и среден регистър се явяват хармоници от по-висок порядък, основния тон преобладава в честотния спектър на тоновете главно във висока теситура. При кларинета долната половина от звукореда е белязана от значителен като ниво превес на нечетните хармоници, което е обусловено от акустичните особености на корпуса, и води до подчертано кух, празен и мрачен тонов характер.

От всички инструменти в оркестъра тези с двойни пластинки притежават най-изявени формантни области. Причина за това е механизма на задухване, при който се активират собствените честоти на стройката чрез характерните за нея резонанси, и това определя богатия на формантни области спектрален състав на обоя и фаготи. За обоя е определяща основната формантата около вокала “А” (около 1100 Hz), но той притежава и две ясно изразени високочестотни форманти (на около 2700 и 4500 Hz), което утвърждава ясен и светъл тонален характер, и подчертана яркост на тембъра. Типична за фагота е “О”-формантата (около 500 Hz), която съвпада сравнително точно като ширина и честотна позиция с вокалната. Това е причина за голямото тембрално сходство между фагота и човешкия глас, особено в ниска и средна теситура. За формиране тоналния характер на висок регистър при фагот влияние имат няколко допълнителни амплитудни максимума, разположени в рамките на 1000 – 3500 Hz. За фагота е характерна също известна променливост на честотната позиция на формантните области вследствие на различната тонова височина, което във висок регистър подчертава носовата компонента в тембъра. При кларинета формантният състав на спектъра е значително по-слабо изразен, тук тембралните особености се определят от акустичните качества на инструмента като затворена цилиндрична лингвална тръба. Това се изразява в много отчетливо тонално диференциране на нисък, среден и висок регистър, като тембърът в същата прогресия се променя от тъмен и леко празен в посока ярък, плътен и светъл, което отговаря на постепенното понижение (и накрая липса) на разликата между четни и нечетни хармонични съставки. Единствено в честотния обхват 3000 – 4000 Hz при кларинет се наблюдава устойчива като присъствие формантна област. Флейтата се характеризира с ясно изразено отсъствие на стабилно обособени форманти, като различните инструменти понякога притежават различни слабо изявени формантни области. Причината за това се крие най-вече в отчетливо преобладаващия първи хармоник в състава на честотния спектър на флейтовия звук, и плавното равномерно затихване на спектралните компоненти във височина.

Особено значение за богатството на честотния спектър при дървени духови има динамиката на изпълнение. Типична за тези инструменти е сравнително силната зависимост на динамиката от спектралния състав, поради което дори съседни тонове могат да имат различен динамичен диапазон. Максимално разширен честотен обхват за всички инструменти се наблюдава при динамика *ff* и при високи тонови позиции, докато тихите динамики показват редуциране на честотния спектър до 4-5 пъти, особено за тоновете от нисък регистър. Подчертано стеснен динамичен диапазон имат флейтата във висок и обоя в

нисък регистър. Кларинетът притежава един от най-големите динамични диапазони сред целия класически инструментариум (с изключение на ударни инструменти). Динамичният обхват на кларинет е сравнително теситурно независим и особено широк в среден регистър. Нивото на звука при дървени духови е средно с 10 dB по-високо от това на струнните, т.е. те звучат около два пъти по-силно. Абсолютното звуково ниво се повишава с увеличаване височината на тона едновременно със стесняване на диапазона, като тази зависимост е най-силна при флейтата.

Една от най-важните пространствено-акустични детерминанти на всеки инструмент е характеристиката на насоченост. При дървените духови инструменти тя е обусловена от устройството на инструментите и най-вече от факта на наличие на звукови отвори (клапи) по корпуса. В най-ниските за всеки инструмент честоти излъчването е сферично във всички посоки, като границата зависи от размерите и акустичните особености на конкретния представител. В областта на на средните честоти до около 2000 Hz излъчването се концентрира странично от грифовите отвори (т.е. перпендикулярно на корпуса в противоположни посоки). Високочестотните компоненти от 3000 до 5000 – 8000 Hz се излъчват успоредно на корпуса по посока на устието на инструмента, в една прогресивно стесняваща се с покачване на честотата ъглова зона, симетрична около векора на самия инструмент. Това очертава значително изменение на тембъра в зависимост от посоката на излъчване и позицията на заслушване (фиг 1).



Фиг 1 – тридецибелна зона в характеристиката на насоченост на звуково излъчване при дървени духови инструменти

ИЗВОДИ

Очертаните обобщени акустични белези на дървените духови инструменти отразяват общата природа, развитие сходното устройство независимо от различията в начина на изпълнение. Действието на тези инструменти се основава на един и същ принцип – използването на въздух за генериране и възпроизвеждане на музикални тонове. В това отношение всички духови показват очевидна и съществена близост с човешкия глас, сам по себе си прототип на всички музикални възпроизвеждащи устройства. Значението на дървените духови не се ограничава в музикално-изпълнителската функция във всички нейни проявления. По отношение на своето педагогическо и художествено-възпитателно влияние духовите инструменти представляват едни от най-успешните и приложими музикални практически средства. Те притежават особена привлекателност, силно художествено въздействие и естествена музикално-възпитателна и образователна приложимост. Това прави този вид инструменти изключително подходящи за провеждане на музикални занимания с деца, особено в неформални образователни форуми като музикално ателие. Използването на дървени духови инструменти в „извънучилищните музикалнообразователни форми, каквото

в частност е детското музикално ателие, позволяват разгръщане на въображението както на децата – участници в него, така и на квалифицирания музикален педагог. Посредством разнообразието от форми на работа, приложими в ателието, и по-голямата свобода на самата образователна форма, в него могат да се представят разнообразни по своята същност и цел музикалнотворчески задачи. Такъв комплекс може да съдейства активно за разгръщане на творческия потенциал с помощта на адекватен подход и методи на работа“ (Стефанова, П. 2016г).

Настоящият доклад е разработен по научно-изследователски проект "Изследване на възможности за прилагане на интегративни връзки в хуманитаристиката и изкуствата“, дог. № 20-ФПНО-01, финансиран по фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет „Ангел Кънчев“.

REFERENCES

Aldoshina, I., Pritts, R. (2006). *Musical acoustics*. Composer St Petersburg (Алдошина, И., Приттс, Р. (2006). *Музикална акустика*. Издателство „Композитор – Санкт-Петербург“)

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

Stefanova, P. (2016). *Alternative percussions in the music atelier*. Almanac NAM “Proff. Pancho Vladigerov”- Sofia, Year 7 (2015) (Стефанова, П. (2016). *Алтернативните перкусии в музикалното ателие*. Алманах НМА „Проф. Панчо Владигеров“ - София, година 7 (2015)