|  |  |
| --- | --- |
| **Преподаватель** | **Залятдинов А.Ф.** |
| **Учебная дисциплина** | **Акустика** |
| **курс** | **М1** |
| **специальность** | **53.02.08 Музыкальное звукооператорское мастерство** |
| **Дата занятия:** | **15.04.2020** |

**АКУСТИКА СТРУННЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ**

**ИНСТРУМЕНТОВ**

Струнные инструменты играют огромную роль в развитии музыкальной культуры на протяжении всей ее многовековой истории. Они составляют основу современных симфонических оркестров, широко используются в народной музыке, рок-музыке и других видах музыкального искусства.

Во всех струнных инструментах имеются основные элементы для извлечения звука, такие как: генератор - возбудитель колебаний, с помощью которого мышечная энергия передается через движение смычка, щипок или удар молоточком; вибратор - натянутые колеблющиеся струны инструмента (скрипки, гитары, арфы, рояля и др.); резонатор - усилитель колебаний, например, плоская дека инструмента (рояль) или корпус с заключенным в нем объемом воздуха (гитара, скрипка, арфа и др.).

Классификация струнных инструментов обычно производится по способу возбуждения (генерации) звука и включает в себя следующие основные группы:

* смычковые - скрипки, альты, виолончели, контрабасы, а также народные инструменты (кеманча, басоля, саранги и др.);
* щипковые - гитары, арфы, мандолины, клавесины и многочисленные народные инструменты: балалайки, домры, гусли, бандуры и др.;
* ударные (клавишные) - фортепиано.

Несмотря на наличие общего типа вибраторов (натянутых струн), эта группа включает в себя инструменты, значительно отличающиеся по способам звукоизвлечения и по акустическим характеристикам из-за различий в способах генерации и усиления звука. В лекции будут рассмотрены акустические свойства струнных смычковых инструментов на примере скрипки.

**Струнные смычковые инструменты. Скрипка**

К группе смычковых относятся инструменты, звук в которых возбуждается за счет трения, возникающего при движении смычка по струне. Такой способ извлечения звука называется фрикционным (friction - трение). В эту группу входят такие инструменты как скрипка, альт, виолончель, контрабас и др., которые уже более трех столетий служат украшением симфонических и камерных оркестров. Сотни композиторов писали для них свою музыку и ценили их за красоту тембра, широкий частотный диапазон, возможность извлечения множества оттенков звука и т. д. Смычковые струнные инструменты, которые можно считать предшественниками скрипки, имеют многовековую историю: например, такие инструменты как ребек (рабаб), были известны на Востоке задолго до н. э. Уже в VIII веке в Европе был известен пятиструнный смычковый инструмент кротта, в этот же период арабами были

завезены ребек и кеманча, затем с XIV века получили широкое распространение в европейской музыке фидели и виолы (виола да гамба, виола д'амур, виола помпоза и др.).

Современная скрипка была создана в Италии к середине XVI века, затем в течение последующих полутора веков ее конструкция непрерывно совершенствовалась семьями великих скрипичных мастеров в Кремоне (Северная Италия), самыми знаменитыми из которых были Николо Амати (1596-1684), Антонио Страдивари (1644-1737), Джузеппе Гварнери, по прозвищу дель Джезу (1698-1744). Искусство передавалось от отца к сыну и от мастера к ученикам. Изготовление скрипок было доведено до уровня высочайшего мастерства (большинство музыкантов и слушателей верят в существование особого секрета скрипок Страдивари, который был утерян в начале XIX века). До настоящего времени звучание скрипок этих итальянских мастеров считается непревзойденным эталоном. Необходимо отметить, что многие сохранившиеся скрипки подвергались реставрации в XIX веке, особенно знаменит был французский мастер-реставратор Ж. Вильом (1798-1875), который не только реставрировал, но и делал копии скрипок, в частности Страдивари, добиваясь сильного и яркого звучания. За прошедший период произошли некоторые изменения в конструкции инструмента: с целью повышения мощности и яркости его звучания в больших концертных залах увеличилось натяжение струн, несколько выше стала подставка, тяжелее пружина и др. Современные скрипичные мастера также сделали и делают в настоящее время много замечательных экземпляров скрипок.

Ни один инструмент не был так овеян легендами и не вызывал столько внимания историков, музыкантов и ученых, как скрипка. Большинство выдающихся ученых-акустиков в течение последних двух столетий уделили внимание анализу процессов звукообразования в ней: в XIX веке - Ф. Савар (F. Savart ), Г. Гельмгольц (Н. Helmholtz), Д. Стретт, лорд Рэлей (D. Strutt, lord Rayleigh); в XX веке - Ч. Раман (Ch. Raman), Ф. Саундерс (F. Saunders), Р. Шумахер (R. Schumacher), К. Хатчинс (С. Hutchins), Ю. Мейер (J. Meyer), В. Лоттермозер (W. Lottermoser), Л. Кремер (L. Cremer - автор знаменитой книги «Physics of violin»), и др. В России этой проблемой занимались А. Леман (в 1903 г. вышла его книга «Акустика скрипки»), А. В. Римский-Корсаков, П. Зимин, И. Русаков, Б. Янковский и др.

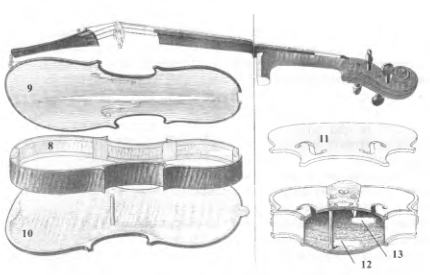
По инициативе замечательного знатока и мастера скрипок профессора К. Хатчинс в США было основано международное научное общество Catgut Acoustical Society, которое занимается проблемами акустики скрипок и издает научный журнал под тем же названием. Стремление понять секреты итальянских мастеров, создать скрипки, аналогичные старинным по качеству звучания, постоянно заставляют современных ученых изучать процессы звукоизвлечения в этом инструмент. Например, только антология статей по акустике скрипок под редакцией К. Хатчинс за 1975-1993 годы включает несколько сотен работ.

Конструкция скрипки



Инструмент состоит из следующих частей: корпус (1), шейка с головкой (2), подставка (3), струнодержатель, или подгриф (4), колки (5), гриф (6), Верхний порожек (7). Корпус, имеющий сложную фигурную форму, состоит из рамки (8) и приклеенных к ней верхней (9) и нижней (10) дек.

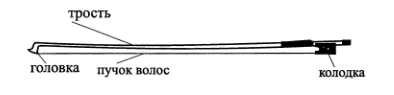
На верхней деке находятся фигурные звукоизлучающие отверстия - эфы (11). Кроме того, в корпусе имеется еще два очень важных элемента: душка (12) - еловая палочка цилиндрической формы, которая устанавливается под правой (высокочастотной) ногой подставки. Точное место установки душки подбирается эмпирически и оказывает сильное влияние на звук (например, чем ближе душка стоит к подставке, тем сильнее и резче звук, для его «смягчения» душку немного смещают к подгрифу. Душка касается верхней и нижней деки и придает им дополнительные жесткость и напряжение (она их подпирает); кроме того, она служит для передачи вибрации от верхней деки к нижней. Диаметр душки у скрипок обычно составляет 5-7 мм, держится она только на трении;

пружина (13) - ребро жесткости на верхней деке под левой (низкочастотной) ногой подставки. Это брусок из дерева (плотной мелкослойной ели), который укрепляет верхнюю деку и служит для передачи вибраций от подставки. Он приклеивается в несколько напряженной изогнутой форме, концы чуть отстоят от верхней деки. Обычно он имеет наибольшую высоту в середине с постепенным понижением к краям. Общая длина пружины обычно равна 0,75 L (L - длина корпуса): у старинных итальянских скрипок ее длина 241-254 мм, толщина 5 мм, высота в центре - 6-8 мм.

*Поперечный разрез скрипки (вид пружины и душки)*

Для удобства держания скрипки в нижней части корпуса крепятся с помощью охватывающей струбцины сверху подбородник (14), а снизу - мостик.

Вибратором на скрипке является набор струн (15), передача энергии к которым происходит с помощью смычка.



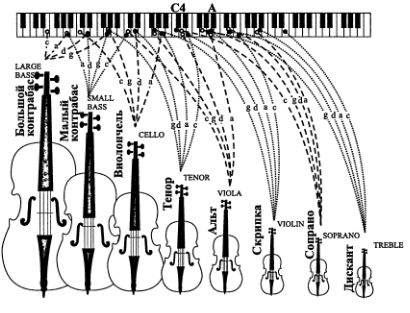
основные элементы: трость, пучок волос, колодка.

По размерам скрипки делят на полные, или четырехчетвертные, (4/4), а также трехчетвертные (3/4), половинные (2/4), четвертные (1/4), восьмые (1/8). Размеры полной скрипки (4/4) следующие:

общая длина 600 мм, длина корпуса 355 мм, его максимальная ширина и толщина - 207 мм и 62 мм, средняя масса - 0,45 кг,

длина рабочей части струн - 330 мм.

В настоящее время профессор К. Хатчинс разработала новое семейство скрипичных инструментов с пропорционально изменяющимися размерами,



*Новая коллекция скрипичных инструментов*

Все элементы скрипки, которые отрабатывались веками, имеют сложную геометрическую форму и обладают особым комплексом физико-механических параметров, определяемых подбором материалов, клеев, лаков, грунтов и т. д.

Конструктивные особенности указанных выше элементов и их роль в процессе звукообразования скрипки будут рассмотрены ниже.

**Корпус** - главный элемент конструкции скрипки, изготовление которого - чрезвычайно сложный и трудоемкий процесс, освоенный со времен старинных итальянских мастеров. Верхняя дека представляет собой сложной формы пластину. В качестве материала для нее обычно используется ель (так называемая «резонансная», или «музыкальная»).

Старинные итальянские мастера использовали тирольскую или боснийскую ель. Деревья заготавливались только в определенное время года, обычно зимой. Распил дерева должен был быть радиальным, чтобы древесные волокна шли параллельно струнам, т. к. жесткость в этом направлении больше. Дерево должно было подвергаться естественной сушке не менее 8-10 лет, т. к. непросушенное дерево в процессе игры трескается и теряет свои качества.

Верхняя дека делается из двух половинок, склеенных по середине (по линии фуги). Она выпуклая снаружи (соответственно вогнутая внутри), ее своды выше в средней части и понижаются к краям, где переходят в небольшую ложбину. Высота свода у старых итальянских скрипок примерно 15,5-17 мм. Толщина деки варьируется в среднем от 2 мм (у края) до 3,5 мм. Как показали измерения старинных образцов итальянских скрипок, распределение толщин по площади деки имеет очень сложный характер; их выборка производилась вручную с целью обеспечения требуемой настройки. С нижней стороны к верхней деке приклеивается пружина. Ус вклеивается в ложбину вдоль наружного края верхней деки, он представляет собой три склеенные между собой тонкие полоски дерева (две из черного дерева, посередине - белая из клена). Они украшают инструмент и предохраняют края деки от изломов.

Эфы - фигурные отверстия для излучения звука, а также для увеличения чувствительности средней части деки. Они способствуют возбуждению колебаний верхней деки на высоких частотах, а также обеспечивают усиление звука на низких частотах. Совместно с внутренним объемом они формируют резонатор Гельмгольца, основной воздушный резонанс которого зависит от площади эфов, внутреннего объема корпуса и жесткости стенок.

Нижняя дека изготавливается из специального клена (явора), она обычно также делается из двух половинок (иногда целой). Явор дает хорошие акустические характеристики и имеет красивый рисунок. По своим контурным очертаниям она повторяет верхнюю деку, но своды у нее поднимаются более полого от краев, высота свода (по измерениям старинных скрипок ) 15-16 мм, толщина в средней части 4-6 мм, у краев примерно 2,5 мм.

С верхней декой ее связывает душка. Отношение веса верхней деки с пружиной к нижней деке (как, например, показали измерения на скрипках Гварнери) составляет 3 : 4. Рамка состоит из шести обечаек, тонких, выгнутых по профилю корпуса кленовых дощечек толщиной 1,5-2,0 мм, склеенных

с четырьмя уголками и верхним и нижним клоцами (стойками).

Для большей прочности приклейки дек к рамке корпуса по периметру обечаек с внутренней стороны прикреплены узкие длинные полоски толщиной 2-3 мм (контр-обечайки), которые, так же как уголки и клоцы, сделаны из ели. Задача рамки – формировать воздушный объем внутри дек и передавать колебания от верхней деки к нижней.

**Подставка** устанавливается на верхней деке. Ее основное назначение состоит в том, чтобы удерживать струны на нужном расстоянии от грифа и передавать колебания струн на резонаторы (верхнюю и нижнюю деки и воздушный объем). Подставка функционирует как механический трансформатор, который конвертирует параллельную силу от струн FcmpyH в поперечную силу Fn, действующую на корпус. Она имеет сложнейшую форму (отработанную еще А. Страдивари); ее высота около 32-34 мм, толщина верхнего края - 1,5 мм, масса 1,6-1,9 г. Изготавливается она из резонансной ели, как и верхняя дека. Подставкаоказывает существенное влияние на процесс звукообразования в скрипке, поэтому так тщательно подбираются ее форма и материал.



**Шейка с головкой** делается из целого куска клена (или явора и заканчивается завитком. Форма головки выбирается из эстетических представлений (по виду завитка узнается почерк мастера). В корпусе головки выдалбливается колковый ящик, в боковых стенках которого, называемых «щечками», просверливают четыре отверстия и вставляют колки.

**Колки** вытачиваются из черного или другого твердого дерева. Они служат для регулировки натяжения струн, которое достигает в современных скрипках величины 250 N. Струна продевается в сквозной канал, просверленный в стволе колка, и закрепляется, а затем колок проворачивают в отверстии колкового ящика, натягивая струну в процессе настройки скрипки.

**Верхний порожек** - небольшой брусочек из черного дерева, приклеивается около нижнего края колкового ящика поперек шейки, служит для поддержания струн на определенной высоте над грифом и для ограничения их рабочей длины.

**Гриф** примыкает непосредственно к верхнему порожку. Он представляет собой выгнутую пластинку из черного дерева, несколько расширяющуюся книзу. При игре струны прижимаются к грифу пальцами, причем музыкант определяет на слух (и исходя из опыта ощутимых усилий), как меняется длина звучащей струны и, соответственно, высота и спектр излучаемого звука.

**Подбородник** - пластинка из черного дерева - прикрепляется с помощью струбцины с левой стороны верхней деки. Так же как и мостик, она служит для удобства исполнителя во время игры.

Кроме того, подбородник и мостик освобождают корпус скрипки от зажима плечом и подбородком, что предотвращает демпфирование звука и значительно улучшает звучание инструмента.

**Струны**. В скрипке используется четыре струны, настроенные по квинтам на следующие частоты: Е5 - 659,3 Гц, А4 - 440 Гц, D4 - 293,7 Гц, G3 - 196 Гц. Длина рабочей части струн - 330 мм. Для изготовления струн в современных скрипках применяется большое разнообразие материалов. Для основы используются жильные, синтетические (перлон), стальные (из специальной высокоуглеродистой стали) струны; в качестве навивки - алюминиевые,

серебряные и стальные нити (канитель). В качестве примера можно привести комплекты струн: Е5, А4 - сталь, обвитая алюминиевой канителью; D4 - жила, обвитая алюминиевой канителью; G3 - жила, обвитая серебряной нитью (мастерские Большого театра); Е5 - сталь; А4, D4 - синтетика (перлон) с алюминиевой навивкой; G3 - синтетика (перлон) с серебряной навивкой (Dominant фирмы Dr. Thomastik); Е5 – хромированная сталь; А4, D4, G3 - хромированная сталь со стальной навивкой (Chromcor фирмы Pirastro) и др.

Все деревянные детали скрипки покрываются специальным лаком. Многие ученые считают, что секрет итальянских скрипок в составе грунта и лака, однако многолетние исследования показали, что хотя состав лака и оказывает влияние на качество звучания скрипок, он не является определяющим.

Сложная форма дек, наличие ребер и стяжек в скрипке обусловлены не только акустическими требованиями к качеству звучания, но и решением проблемы механической прочности, т. к. очень тонкая и легкая дека должна без изломов и трещин выдерживать большое натяжение струн (примерно 250-260 N, или 25-27 кГ), что создает статическую поперечную силу, воздействующую на подставку, примерно в 80-90 N (8-9 кГ).

**Смычок** - устройство для возбуждения струн. Он представляет собой круглую или граненую деревянную трость из фернамбука или граба, слегка изогнутой формы, постепенно утолщающуюся от одного конца к другому. На более тонком конце находится головка, на более толстом - колодка, которую можно

двигать взад и вперед по трости с помощью винта и гайки. В колодке сделано специальное отверстие, в котором закреплен пучок волос в виде плоской ленты. В пучке используется обычно конский волос (из хвоста), обработанный особым образом и при игре натираемый канифолью. Общая масса смычка для полной скрипки примерно 60-70 г, длина примерно 730 мм. В основном современные мастера копируют элементы старинных итальянских скрипок, однако постепенно происходят некоторые изменения в их конструкции: увеличивается высота подставки, т. к. из-за увеличения натяжения струн растет действующая на них поперечная сила; жильные струны заменяются на металлические; увеличивается толщина пружин и т. д., что позволяет получить большую громкость и яркость звучания.

Процесс звукообразования. Процесс извлечения звука в скрипке может осуществляться разными способами: за счет движения смычка по струне; за счет щипка струны (игра pizzicato); за счет удара по струнам тростью смычка (игра con legno). Струна, как известно, является слабым излучателем звука в

воздушную среду, у нее слишком мала площадь, поэтому для усиления звука используются резонаторы - корпус скрипки и воздушный объем внутри него.

Общий процесс возбуждения и передачи звука происходит в такой последовательности: колебания струны, возбуждаемые при движении смычка (механизм их возбуждения будет рассмотрен ниже), приводят к появлению переменной поперечной силы, действующей на подставку, которая вызывает возникновение вынужденных колебаний в ней. Поскольку подставка имеет свои собственные резонансные частоты, то она действует как полосовой фильтр, усиливая колебания в области 2-3 кГц. От подставки колебания передаются корпусу, при этом с помощью душки и пружины возбуждаются вибрации в верхней и нижней деке. Деки имеют свою систему резонансных частот и, следовательно, подчеркивают определенные области в спектре. При колебаниях корпуса возбуждается воздушный объем внутри него, который также имеет свои собственные резонансные частоты и, соответственно, вносит

свой вклад в процесс преобразования колебаний струн. Вся эта сложная колеблющаяся система, как механическая, так и воздушная, излучает звук в окружающую среду. Этот сложный звукообразующий процесс определяет тембр, громкость, звуковысотные соотношения и все другие характеристики, которые создают «звуковой образ скрипки».

Процесс преобразования энергии колебаний при передаче ее от смычка к струнам, от них к подставке, корпусу и воздушному объему является не очень эффективным: коэффициент полезного действия меньше 1%, основная часть энергии преобразуется в тепловую в различных элементах конструкции. Процесс возбуждения струн смычком: струна представляет собой тонкое гибкое тело, натянутое между двумя опорами. Идеальная струна не имеет собственной жесткости и управляется только натяжением. При этом предполагается, что плотность ее распределена равномерно и диаметр у нее строго постоянный. Тонкие вытянутые тела, управляемые натяжением, обладают замечательным свойством: их собственные частоты находятся в целочисленных соотношениях 1 : 2 : 3 : 4... (т. е. все их обертоны являются гармониками)

Эти соотношения имеют место только в идеальных струнах. В реальных струнах всегда есть некоторые отклонения, которые порождают негармоничность спектра, т. е. сдвиг в целочисленных соотношениях собственных частот. Основными причинами негармоничности являются: собственная жесткость струн, колебания их опор, неоднородное распределение плотности, неравномерность диаметра вдоль длины, изменение длины струн в процессе колебаний и др. Собственная жесткость струн приводит к появлению не только поперечных колебаний в них, но также продольных и крутильных (это создает шумовые искажения в звуке). Практически все музыкальные инструменты создают звуки с известной негармоничностью спектра: если сдвиг обертонов находится в пределах от 0,1% до 0,35%, то это создает некоторую живость звучания; если превышает эти пределы, то могут ощущаться биения.

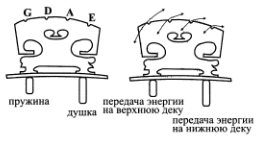
Жесткость струн влияет не только на негармоничность обертонов, но и на соотношение их амплитуд: более жесткие и толстые струны хуже возбуждаются на высоких частотах (из-за большого сопротивления изгибу), высокие обертоны в них быстрее затухают, поэтому их спектр беднее и тембр более глухой.

Процесс возбуждения струны смычком происходит за счет силы трения. В смычке используется натянутый конский волос (как всякий волос, он имеет трехслойную структуру: внутренний слой - кубические ороговевшие клетки, промежуточный слой - корковое вещество, внешний слой - черепичные чешуйки волосков). Пучок волос натирается канифолью, удерживаемой внешними чешуйками. При движении натертых канифолью волосков поперек струны легкоплавкая канифоль вследствие нажима слегка расплавляется и становится липкой, волоски пристают к струне, при этом смычок как бы прилипает к струне за счет силы трения.

Струна отрывается от смычка и начинает с большой скоростью скользить назад навстречу его движению (при этом скольжении сила трения движения оказывается малой, т. к. она обратно пропорциональна скорости; по инерции она проскакивает положение равновесия и отклоняется в другую сторону, пока ее скорость не становится снова равной скорости смычка; тут смычок ее подхватывает, и цикл повторяется.

В результате форма колебаний струны имеет вид пилообразного импульса, в котором можно выделить два этапа: процесс сцепления и процесс скольжения.

**Роль подставки в звукообразовании**.



Подставка выполняет очень важные функции в процессе игры на скрипке: во-первых, она удерживает струны на заданном расстоянии от грифа, во-вторых, выдерживает большую силу статического давления со стороны струн (порядка 80-100 Н). Наконец, как уже было сказано выше, она трансформирует переменную динамическую силу, возникающую при движении смычка в плоскости, параллельной деке, в поперечную динамическую силу, величина которой 2-5 Н. Под действием смычка струна совершает поперечные колебания в его плоскости. Поскольку подставка имеет особую криволинейную форму, под действием этих смещений струны она начинает

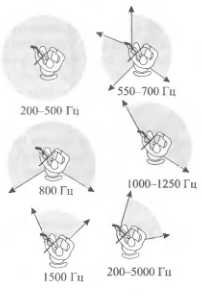
совершать вращательные движения, т. е. качаться на левую или правую «ногу», передавая давление вниз на деку. Поскольку подставка под одной ногой имеет пружину (под струной G), а под другой душку (под струной Е), то через пружину она передает усилия верхней деке (низкочастотной «ногой»), через душку нижней деке (высокочастотной «ногой»). Формы колебаний под-

ставки подробно исследованы в работах К. Хатчинс и др.. Жесткость и масса подставки были подобраны таким образом, чтобы ее первый собственный резонанс находится в области 2-3 кГц (что совпадает с частотой высокой певческой форманты голоса. В этой области она увеличивает передачу силы со стороны струн на деку, т. е. действует как полосовой фильтр. Эксперименты показали, что даже небольшой сдвиг собственных резонансов подставки приводит к значительному изменению тембра скрипки: при сдвиге их вниз звук становится более пронзительным. Поэтому в современных скрипках конфигурация подставки сохраняется практически такой же, какой ее отработали итальянские мастера.

На подставку иногда надевается сурдина. Она имеет форму гребешка с тремя раздвоенными верхней и нижней деки зубцами, которые вставляются между струнами. Сурдина ограничивает амплитуду колебаний струн, что приводит к уменьшению громкости и изменению тембра звучания.

**АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Диапазон воспроизводимых частот для основных частот равен 196 Гц (G3)-3520 Гц (А7), в сольных партиях до 3951 Гц (В7), т. е. больше четырех октав. С учетом обертонов он достигает 6 кГц для нижних регистров и 10 кГц и выше для верхних. Спектр звуков скрипки содержит большое количество гармоник со значительными вариациями по амплитуде; примеры огибающих спектра (АЧХ) для старинных и современных скрипок (скрипки возбуждались с помощью электромеханического возбудителя, установленного на подставке).



В нижних регистрах

(струна G3) фундаментальная частота имеет амплитуду на 20-25 дБ меньше, чем более высокие гармоники в спектре; в верхних регистрах амплитуда фундаментальной частоты становится наибольшей.

Типичные формантные области спектра: для низких нот - 400 Гц; вторая очень важная формантная область – 800 - И 200 Гц (интересно отметить, что для скрипок Гварнери эта область находится в пределах 1000-1250 Гц, а у скрипок

Страдивари от 800 до 1000 Гц. Высокие формантные области 2000-2600 Гц и 3000-4000 Гц оказывают существенное влияние на яркость и полетность звука. Состав спектра зависит от места приложения смычка: чем ближе к подставке, тем больше обертонов в спектре. Характерной особенностью спектров является наличие шумовых компонентов, возникающих при движении смычка. Этот смычковый шум «окрашен» за счет резонансов деки и воздушного объема. Динамический диапазон у скрипки составляет 30-35 дБ. Нижний уровень при исполнении рр составляет 42 дБ-А для низких и средних и 45 дБ-А для верхних частот (на расстоянии 6,5 м). Верхний уровень при ff: 75 дБ-С и 80 дБ-С в области Сб. Необходимо отметить, что у скрипок нет такой сильной зависимости состава спектра от уровня громкости как у духовых инструментов.

Переходные процессы, при игре на скрипке у исполнителя имеется значительно больше возможностей контролировать процесс установления звука, чем на духовых инструментах. Общее время атаки составляет 60 мс для низких тонов, 40-50 мс для средних и 30 мс для высоких. При мягкой атаке время установления увеличивается до 200-300 мс. Обычно высшие гармоники устанавливаются быстрее, чем нижние, что влияет на восприятие тембра скрипки.

Характеристика направленности. Угол излучения звука у скрипок имеет сильно выраженную частотную зависимость (для горизонтальной плоскости). На низких частотах в диапазоне до 700 Гц излучение происходит как от верхней, так и от нижней деки, а также от воздушного объема через эфы. На более высоких частотах излучение идет в основном от верхней деки, т. к. в этой области частот передача вибраций на нижнюю деку существенно уменьшается.

Тембр. Скрипка обладает уникальными возможностями создания огромного многообразия тембральных оттенков звука: светлых, серебристых - в верхних регистрах; мягких, нежных - в средних; певучих, густых - в нижних.