

Частное учреждение образования
«Институт современных знаний имени А. М. Широкова»

Факультет искусств
Кафедра художественного творчества и продюсерства

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой
Бычкова Н. В.

31.01.2025 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета
Кузьминич Т. В.

11.02.2025 г.

МУЗЫКАЛЬНАЯ АКУСТИКА

*Электронный учебно-методический комплекс
для обучающихся специальности
6-05-0215-10 Компьютерная музыка*

Составитель

Попроцкий А. Д., старший преподаватель кафедры художественного творчества и продюсерства Частного учреждения образования «Институт современных знаний имени А. М. Широкова»

Рассмотрено и утверждено
на заседании Совета факультета искусств
протокол № 4 от 11.02.2025 г.

УДК 681.84(075.8)
ББК 85.310.004.7

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра эстрадной музыки учреждения образования «Белорусский государственный университет культуры и искусств» (протокол № 7 от 27.02.2025 г.);
Мисевич В. Л., заслуженный артист Республики Беларусь.

Рассмотрено и рекомендовано к утверждению
кафедрой художественного творчества и продюсерства
(протокол № 6 от 31.01.2025 г.)

М89 Попроцкий, А. Д. Музыкальная акустика : учеб.-метод. комплекс для обучающихся специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка [Электронный ресурс] / Сост. А. Д. Попроцкий. – Электрон. дан. (0,7 Мб). – Минск : Институт современных знаний имени А. М. Широкова, 2026. – 129 с.

Систем. требования (миним.): процессор с частотой 1 ГГц, 1 ГБ оперативной памяти, 1 ГБ свободного места на жестком диске ; персональный компьютер под управлением ОС Microsoft® Windows® 7 и выше ; macOS® Leopard® и выше или мобильное устройство под управлением Android® 4.x и выше ; iOS® 9.x и выше ; Adobe Reader для соотв. ОС (или аналогичное приложение для чтения PDF-файлов).

Номер гос. регистрации в РУП «Центр цифрового развития» 1182544743
от 11.11.2025 г.

Учебно-методический комплекс представляет собой совокупность учебно-методических материалов, способствующих эффективному формированию компетенций в рамках изучения дисциплины «Музыкальная акустика».

Для магистрантов.

ISBN 978-985-547-520-1

Ó Институт современных знаний
имени А. М. Широкова, 2026

Введение

Процесс создания современной музыки для театра, кино, телевидения, эстрадных шоу-программ при помощи технических средств, коими являются компьютерные студии с соответствующим программным обеспечением и техническим оснащением, требуют глубоких теоретических и практических знаний в области такой учебной дисциплины, как «Музыкальная акустика».

Эта учебная дисциплина является базовой теоретической платформой, без изучения которой невозможно в полной мере освоить все остальные дисциплины, входящие в учебный модуль «Основы звукорежиссуры».

Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Музыкальная акустика» предназначен для научно-методического обеспечения процесса подготовки студентов специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка. УМК разработан в соответствии с требованиями Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением Министерства образования Республики Беларусь от 08.11.2022 № 427.

Целью учебно-методического комплекса является формирование у студентов комплексной системы знаний, умений, навыков, а также творческого опыта в области звукорежиссуры и продюсирования музыки, предусмотренной учебным планом учреждения высшего образования по направлению специальности и требованиями образовательного стандарта Республики Беларусь ОСВО 6-05-0215-10-2023 Компьютерная музыка.

Учебно-методический комплекс по учебной дисциплине «Музыкальная акустика» ориентирован на оказание помощи преподавателям и студентам высших специализированных учебных заведений в приобретении и освоении теоретических и практических знаний в области звукорежиссуры и музыкального продюсирования. Разделы, включенные в УМК, предназначены для оптимального сопровождения образовательного процесса и формирования у студентов компетенций, необходимых для решения профессиональных задач в соответствии с современным уровнем развития эстрадного искусства.

Учебно-методический комплекс включает четыре раздела: теоретический, практический, раздел контроля знаний и вспомогательный раздел.

Теоретический раздел содержит теоретический материал по учебной дисциплине и включает сведения об основных понятиях природы звука, акустических свойств музыкальных инструментов и особенностях их звучания. Практический раздел содержит методические рекомендации по выполнению практических заданий как в аудитории, так и самостоятельно. Эти навыки направлены на закрепление теоретических знаний. Раздел контроля знаний включает вопросы и темы для самостоятельной работы студентов, рекомендации для текущей аттестации студентов по итогам освоения материала учебной дисциплины. Вспомогательный раздел комплекса содержит учебную программу учреждения высшего образования по учебной дисциплине, основную и дополнительную литературу.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Содержание учебного материала

Тема 1. Введение

Музыкальная акустика, или просто акустика, является областью учения о звуке. Среди различных разделов физики – механики, оптики, учения о теплоте и других – акустика ближе всего соприкасается с механикой, поскольку в основе всех звуковых явлений, которые изучает акустика, лежит одно из механических движений, а именно – колебательное движение.

Ученые XVIII и XIX столетий Эйлер, Бернулли, Юнг, Гельмгольц, Релей, Савар, Лиссажу и другие исследовали различные формы колебаний различных источников звука: струн, стержней, пластин, мембран и воздушных столбов, рассматривались процессы передачи звука путем образования волн в твердых телах, жидкостях и газах.

Акустика тех дней, опиралась только на механику. Она не могла помочь улучшить качество звучания граммофона, увеличить дальность действия телефона. Лишь с появлением и развитием электротехники, радиотехники и электроники в акустике происходит революционный сдвиг. Примкнув к этим наукам и вооружившись новой методикой исследования, измерений и расчета, акустика быстро разрастается в большую самостоятельную область физики. В ней самой происходит отпочкование отдельных специализированных областей. Рождается электроакустика, музыкальная акустика, архитектурная акустика, гидроакустика, звуколокация, звукометрия, ультразвуковая дефектоскопия, акустоэлектроника и пр.

Тема 2. Природа звука

Для того чтобы мог возникнуть звук, необходима среда, обладающая некоторой плотностью. Звук не может распространяться в условиях вакуума. Рас-

пространение звука в той или иной мере зависит от свойств данной среды. В частности, большое значение имеют плотность, вязкость или упругость, молекулярная структура, температура и др. Если среда обладает высокой вязкостью, то звук быстро затухает, превращаясь в тепло. Кроме этого, распространение звука существенно зависит от неоднородности среды. В условиях с неоднородной плотностью и температурой, будет изменяться направление и скорость распространения. Такое влияние можно наблюдать в тумане, в горной местности и в некоторых других случаях. Известно, что в тумане звук распространяется на большие расстояния гораздо эффективнее, чем в сухую, солнечную погоду. В горах бывает достаточно сложно определить направление на источник звука из-за изменения плотности воздуха по высоте и наличия отражений.

Итак, что же собой представляет звук? Какова его природа? В первую очередь звук – это колебательный процесс. **Колебания упругой среды с частотой от 20 Hz до 20 kHz называют звуковыми.** Для звукорежиссера основной интерес представляют законы распространения звука в воздухе. Поэтому в дальнейшем мы сосредоточим свое внимание именно на этом.

Окружающее нас воздушное пространство состоит из молекул различных газов и микрочастиц, которые под воздействием сил гравитации распределены у поверхности Земли. По мере удаления от Земли плотность атмосферы уменьшается. Воздух обладает достаточно высокой упругостью, что и определяет хорошие условия для распространения звуковых колебаний.

Звуковое давление – величина знакопеременная. Если абсолютное давление больше среднего атмосферного, то звуковое давление считают положительным. Если абсолютное давление меньше среднего атмосферного, то звуковое давление считают отрицательным.

Периодом звуковых колебаний называют интервал времени, в течение которого совершается одно полное колебание. На протяжении одного периода не должно быть повторяющихся участков звукового колебания. Единицей измерения длительности периода является единица времени – секунда. **Частотой звуковых колебаний** называют количество периодов за одну секунду. Едини-

цей измерения частоты является **Герц (Hz)**. Одному полному периоду соответствует угол 360.

Начальная фаза колебания означает момент начала полного периода колебания при $P_{zv}=0$, в момент роста давления, относительно момента начала наблюдения (т. е. относительно нулевого значения координаты оси времени). Если начальная фаза колебания смещена влево относительно нулевой точки оси времени, то фаза считается положительной, а если вправо – то отрицательной.

Одной из наиболее важных характеристик звука является **скорость распространения**. Как уже было сказано ранее, молекулы газов, составляющие воздух, взаимодействуют между собой через упругие силовые связи. Если в какой-либо локальной точке пространства возникает колебательный процесс, то он последовательно передается к соседним точкам данного пространства посредством этих связей. Так звуковые колебания распространяются во всех направлениях при условии, если не встречаются на своем пути жестких препятствий. При этом частицы воздуха могут совершать только колебания относительно точки покоя, не смещаясь линейно куда-либо в пространстве. Разумеется, если на них не действуют другие силы (например, ветер).

На основании этого можно определить, что скорость распространения в пространстве звуковых колебаний называют **скоростью звука** $\rightarrow c$.

Причем, необходимо отметить, что скорость звука в воздухе величина достаточно стабильная и равняется примерно **330. . . 340 м/с**. И зависит она от температуры, плотности и состава воздуха.

Распространяясь в воздухе, звуковая волна имеет свои максимумы и минимумы давлений в разных точках пространства. Форма зависимости давления от расстояния до источника звука повторяет форму зависимости давления от времени. На основании этого можно говорить о такой характеристике как длина волны (λ).

$$\lambda = c \cdot T$$

Из приведенной формулы видно, что длина звуковой волны прямо пропорциональна скорости звука и обратно пропорциональна частоте колебаний. Так, например, на частоте 20 Hz длина волны будет равна 17 метров, на частоте 1 kHz – 34 сантиметра, а на частоте 20 kHz – 1,7 сантиметра.

Если бы мы могли видеть звуковые волны, то обнаружили бы удивительную и сложную объемную картину вокруг нас. Некоторое подобие такой картины мы можем наблюдать на поверхности воды с волнами. Но это все же только волны, ограниченные поверхностным слоем воды, а не в полном объеме. Если в пространстве выбрать произвольно какую-либо точку на некотором расстоянии от источника звука и соединить с ней все смежные точки, в которых звуковая волна будет находиться в такой же фазе колебания, то получим поверхность. Эта поверхность и называется **фронтом волны**.

Звуковое поле, образованное источником звука в условиях ограниченного пространства, без учета отраженных от препятствий волн, называют первичным звуковым полем. Звуковое поле, образованное отраженными от препятствий волнами, называют вторичным звуковым полем.

Акустическая мощность – это работа, выполненная для распространения звуковой волны за единицу времени – это скорость выполнения работы. Акустическая мощность зависит от сопротивления среды и скорости звука. Чем больше сопротивление среды, тем больше необходимо выполнить работу для распространения звуковой волны. Чем меньше скорость звука, тем больше необходимо выполнить работу. Единица измерения акустической мощности – Ватт (W).

Интенсивность звука – это акустическая мощность(давление), передаваемая через единицу площади некоторой плоскости. Иначе говоря, это плотность мощности, передаваемой через некоторую плоскость. Для оценки звуковой энергии, воздействующей на человека или на микрофон, необходимо использовать интенсивность. Человек или микрофон воспринимает силу звука в зависимости от интенсивности, а не общей, рассеянной в окружающее пространство, акустической мощности. Поэтому для повышения уровня звука, в

зоне расположения слушателя, более выгодно применять направленные системы излучения (особенно на открытых площадках).

Необходимо также отметить, что при распространении звука в воздухе, происходит **диссипация** звуковой энергии (**рассеяние**). Суть этого явления заключается в преобразовании звуковой энергии в тепловую, при преодолении сил сопротивления среды. Известны два основных фактора, определяющих диссипацию звука в воздухе. Это вязкость и межмолекулярное взаимодействие воздуха. При увеличении вязкости среды, например, при повышении влажности воздуха, затухание звука усиливается.

Энергия звука при падении на поверхность физического тела, распределяется на две составляющие: на отраженную от поверхности энергию и на поглощенную энергию данным телом.

Поглощение звука – это преобразование энергии звуковых колебаний в тепловую энергию. Человечеству известно с давних времен, что при деформации физических тел или при трении выделяется тепло. По закону сохранения энергии эти процессы представляют собой преобразование механической энергии в тепловую. Звуковые волны обладают кинетической энергией (энергией движения). Когда звук распространяется в какой-либо среде, происходит деформация этой среды, а также трение внутренних структур данной среды. Особенно эффективно такие процессы происходят в мягких телах с волокнистой и вязкой структурой. Например, различные ткани, ковровые покрытия, вязкие смолы, поролон и другие. В тканях поглощение звука осуществляется за счет трения волокон. В смолах и поролоне – за счет высокой вязкости. Необходимо обратить внимание на то, что материалы, предназначенные для поглощения звука, должны быть мягкими и податливыми. В противном случае, при высокой жесткости и твердости таких материалов, значительная часть звуковой энергии будет эффективно отражаться от поверхности этих тел. Различные поглощающие материалы имеют разные коэффициенты поглощения звука на разных частотах. Одни материалы более эффективно поглощают звук на высоких частотах, другие на средних, а третьи на низких. Помимо этого, некоторые

материалы могут эффективно поглощать звук в нескольких полосах спектра частот. Комбинируя разные поглощающие материалы, можно обеспечить равномерное поглощение звука во всем спектре звуковых частот.

Закон преломления звука описывает поведение волны в двух средах и на границе этих сред, если скорость звука в этих средах разная. Закон преломления звука аналогичен оптическому закону преломления света.

Дифракцией называют огибание звуковыми волнами механических, жестких препятствий, находящихся на пути волны. Дифракция существенно зависит от соотношения линейных размеров препятствия и длины волны. Если длина волны значительно меньше размеров препятствия, то звук будет эффективно отражаться или поглощаться препятствием. Если длина волны сравнима с размерами препятствия, то она будет частично огибать препятствие и частично отражаться. Если длина волны значительно превышает размеры препятствия, то она будет его огибать и распространяться далее в пространстве, незначительно при этом рассеиваясь и отражаясь.

Акустический резонанс – это явление, которое оказывает значительное влияние на результирующее звуковое поле в помещениях. Суть этого явления заключается в накоплении звуковой энергии при многократной суперпозиции звуковых волн.

Рассмотрим простейший случай для плоской звуковой волны. Для возможности возникновения акустического резонанса должны быть созданы несколько условий. Первым условием является наличие двух, параллельно расположенных, отражающих поверхностей или двух, противоположных внутренних угловых поверхностей. Источник первичной излучаемой волны должен находиться симметрично относительно них. Например, у самой поверхности или в центре относительно отражателей. Кроме этого, сами углы в помещении тоже формируют собственные резонансы. Вторым условием является совпадение по фазе прямых и отраженных волн, которые накладываются друг на друга. При многократных отражениях и суммировании таких волн, происходит накопление звуковой энергии результирующего поля.

Если длина волны, или половина ее точно равна расстоянию между отражателями, то области повышенного и пониженного давления установятся неподвижно в пространстве. Возникает **эффект стоячей волны**.

Интерференция звуковых волн имеет много общего с акустическим резонансом.

Если первичная звуковая волна эффективно отражается от жесткого препятствия, то отраженная волна, накладываясь на первичную, уже создает достаточные условия для **интерференции**.

Если предположить в простейшем случае, что происходит сложение двух абсолютно одинаковых волн с равными эффективными значениями давлений, то при совпадении их по фазе, суммарное давление удвоится. А при совпадении таких волн в противофазе, суммарное давление, в идеале, будет стремиться к нулю. Благодаря этому в пространстве возникнет неравномерность звукового поля. Расстояние между соседними минимумами (или максимумами) равно половине длины волны. Форма таких зависимостей напоминает гребешок, поэтому говорят, что интерференция проявляется в виде эффекта **гребенчатого фильтра**.

Каждому человеку приходилось наблюдать, как изменяется тональность звука от проезжающего мимо на большой скорости автомобиля. Вначале, когда автомобиль приближается, звук от него имеет повышенную тональность. Затем, когда автомобиль находится вблизи наблюдателя, тональность выравнивается до нормальной. И, когда автомобиль удаляется, тональность понижается относительно нормальной.

Изменение тональности звука, т. е. смещение спектра звуковых частот вдоль оси частот, при условии, что источник и приемник звука движутся друг относительно друга, называют **эффектом Доплера**. Причем, если источник и приемник сближаются, то спектр частот смещается в сторону повышения частот. А если источник и приемник взаимно удаляются, то спектр частот смещается в сторону понижения частот.

Тема 3. Звук в замкнутом пространстве

Каждое помещение, в котором применяется звуковое оформление мероприятий, обладает своей индивидуальной внутренней архитектурой, которая предопределяет его акустические свойства. Для анализа таких свойств необходимо определить те элементы внутренней архитектуры, которые вносят наиболее существенный вклад в формирование звукового поля в данном помещении.

Первое, на что следует обратить внимание, это размеры и форма помещения. Размер помещения, в контексте его акустики, можно условно разделить на малые и большие. К малым относятся помещения с внутренним объемом примерно до 100 м³, а к большим - более 100 м³. Малые помещения имеют такие внутренние размеры, при которых могут возникать достаточно сильные резонансы. Эти резонансы еще называют собственными частотами помещения. На наличие и характер резонансов влияет и форма помещения. Наиболее сильные резонансы и максимальное их количество могут возникать в помещениях прямоугольной формы.

Вследствие этого, для наиболее равномерного распределения частот резонансов по шкале частот, соотношение между указанными размерами должны удовлетворять **правилу «золотого сечения»**.

$$H:B:L=3:5:8$$

Тогда и неравномерность звукового поля будет уменьшена.

Диффузное звуковое поле в помещении

Если соотнести реальные размеры основных источников звука в помещениях с размерами самого помещения, то эти источники можно считать точечными. Вследствие этого, фронты излучаемых звуковых волн в большинстве случаев являются сферическими. Чем дальше распространяется фронт волны от источника звука, тем больше он приближается к плоской форме на ограниченном участке его площади. В свою очередь плоский фронт, при суперпозиции падающей и отраженной волны, формирует ярко выраженное поле интерференции или, в соответствующих условиях, – поле резонансов.

Для ослабления этих недостатков и повышения равномерности звукового поля, рекомендуется отражающие поверхности делать рельефными и выпуклыми. Это искажает форму фронта отраженной волны и повышает степень диффузности звукового поля, что позволяет повысить его равномерность.

В классических театральных залах диффузность звукового поля повышается благодаря художественным барельефам. В новых современных залах применяются специальные рассеивающие щиты.

Поглощение звука в помещениях

Каждый элемент внутренних архитектурных и технических конструкций поглощает в той или иной мере звук. Помимо этого, сами зрители также являются достаточно эффективными звукопоглотителями. Все это влияет на акустические свойства помещения. Поэтому, для полноценного анализа акустических свойств зала необходимо учитывать коэффициенты поглощения каждого элемента. Пренебречь можно только теми элементами, которые имеют небольшую площадь и не оказывают заметного влияния на суммарный результат анализа.

Типы поглотителей звука-пористые поглотители, пористые перфорированные экраны и резонансные. Различные виды поглотителей имеют разную эффективность в звуковом диапазоне частот. Для достижения требуемой характеристики звукопоглощения применяют комбинации из разных поглотителей. Причем, для каждого конкретного помещения рекомендуется производить индивидуальную настройку с подбором и установкой поглотителей.

К пористым поглотителям можно отнести мягкие материалы на тканевой основе: ковры, войлок, минеральная вата, стекловата, кулисы и др.

Пористый перфорированный экран представляет собой жесткий плоский лист со сквозными отверстиями, расположенный параллельно стене на некотором расстоянии. Пространство между перфорированным листом и стеной заполняется мягким поглотителем, например, минеральной ватой или стекловатой.

Принцип действия перфорированного экрана заключается в том, что звуковые колебания падают на его поверхность со стороны, на которой площадь отверстий больше, чем с противоположной. Поэтому акустическое сопротивление

ние в этом случае меньше, чем при падении звуковой волны с обратной стороны. Благодаря этому звук более эффективно распространяется со стороны пространства студии или зала в пространстве между стеной и экраном, чем в обратном направлении. Та часть звуковой волны, которая прошла в пространство между стеной и экраном многократно отражается от внутренних поверхностей и поглощается внутренним поглотителем.

Для полноценной работы со звуком должны быть созданы условия с минимальным уровнем посторонних шумов. Особенно высокие требования к обеспечению низкого уровня шумов предъявляются в студиях звукозаписи. Единственный реальный способ избавиться от посторонних шумов – применить эффективную звукоизоляцию. Необходимо устранять все щели и отверстия, соединяющие данное помещение с внешним пространством, кроме технологических вентиляционных воздуховодов. Вентиляционные конструкции должны быть снабжены глушителями. Все механизмы, вызывающие вибрации и детонации должны быть установлены на демпфирующих подушках. Стены должны быть массивными и жесткими. Окна необходимо собирать из тройного стеклопакета с плотной герметизацией. Двери должны быть плотными и массивными, покрытыми слоем звукопоглотителя и тщательно подогнаны. Для большей эффективности рекомендуется использовать двойные двери с разделяющим их тамбуром.

Одним из способов существенно улучшить звукоизоляцию является построение студии по принципу: коробка – в коробке. При этом внутренняя часть помещения должна быть установлена на свой, изолированный фундамент. Никакие жесткие связи конструктивных элементов внутренней коробки помещения с внешними не допустимы. Даже один гвоздь, соединяющий внутреннюю коробку с внешней, может существенно ухудшить качество звукоизоляции. Пол должен быть плавающим, т.е. установлен на амортизирующие подушки и не должен иметь жестких связей, контактов с фундаментом и стенами. Потолки применяют подвесные, с амортизирующими подвесками. Пространство между стенами внутренней коробки и стенами внешней коробки заполняется звукопо-

глотителем, например, стекловатой. Определенную роль в звукоизоляции играют и звукопоглотители внутри самой студии.

Для повышения эффективности звукоизоляции от тех шумов, которые передаются за счет изгибных волн в стенах, потолках и т.д., рекомендуется применять многослойную структуру. Оконные стекла рекомендуется устанавливать под углом друг относительно друга.

Реверберация

На акустику в зале наиболее сильное влияние оказывает такой процесс, как реверберация. Звук, распространяясь от источника в разных направлениях, отражаясь от препятствий и меняя направление, формирует сложное диффузное звуковое поле. Поскольку скорость звука относительно невысока, то после окончания излучения первичным источником, в зале некоторое время слышно вторичное звуковое поле. Если слушатель находится в какой-либо одной локальной зоне, то в данную зону, после окончания первичного звукового сигнала продолжают распространяться множественные вторичные звуковые волны, отраженные от внутренних поверхностей зала. Все эти волны образуют суперпозицию в каждой точке пространства данного помещения. Количество отражений для любой волны может равняться, разумеется, от одного до бесконечности. Учитывая, что после очередного отражения, часть энергии звуковой волны теряется и нелинейно рассеивается в пространстве, каждая последующая отраженная волна ослабляется по интенсивности. В результате этого, в помещении можно наблюдать постепенное убывание интенсивности суммарного звукового поля после прекращения излучения первичным источником. Это явление и называется реверберацией. Время, в течение которого звуковое давление суммарного вторичного звукового поля после выключения первичного источника звука уменьшается в 1000 раз, что соответствует -60 dB, называют временем реверберации Трев.

На разных частотах волны могут иметь разные формы фронтов, а также, при отражениях, в разной степени поглощаться поверхностями помещения. Вследствие этого, время реверберации в одном и том же помещении на разных

частотах разное. Поэтому следует различать общее, суммарное время реверберации в звуковом диапазоне частот и время реверберации на отдельных частотах, либо в отдельных узких полосах частот. Общее время реверберации в звуковом диапазоне частот измеряется с использованием «розового» шума. Время реверберации в узких полосах частот, например, шириной в 1 октавы, измеряется с использованием «розового» шума, отфильтрованного 1 октавным полосовым фильтром. Время реверберации на отдельных частотах измеряется с использованием тонального генератора.

Рекомендуемое общее оптимальное время реверберации для некоторых помещений приводится в таблице.

Зал для слушателей	Объем, м³	Трев, сек
Драматический театр	15000	1, 4 – 1, 6
Музыкальный и оперный театр	15000	1, 6 – 1, 8
Концертный зал	15000	2 – 2, 2
Студия звукозаписи для джазовой музыки	4000	0, 9 – 1, 1
ки		
Заглушенная студия звукозаписи	200	0, 15
Речевая студия	100	0, 4

Тема 4. Основные свойства слуха человека.

Физиология слуха человека

Для того чтобы можно было полноценно анализировать работу систем озвучивания и звукозаписи, а также на основе этого их проектировать, необходимо учитывать физиологические свойства слуха человека.

Ухо состоит из трех частей: 1) наружное ухо, состоящее из ушной раковины и наружного слухового прохода, 2) среднее ухо, включающее барабанную перепонку и слуховые косточки, 3) внутреннее ухо, представленное улиткой – полой, спирально закрученной трубкой, она заполнена так называемыми жидкостями внутреннего уха и связана со слуховым нервом.

Поскольку размеры ушной раковины соизмеримы с длинами волн в диапазоне частот около 7...10 кГц ($\lambda = 5...3,4$ см), то и чувствительность к направлению на источник звука наиболее заметна на этих и более высоких частотах. Это справедливо при моноуральном слушании (т.е. слушании одним ухом). При слушании бинауральном (т.е. слушании двумя ушами), чувствительность к направлению на источник звука заметно повышается, это определяется разницей фазы звуковой волны, приходящей к двум ушам. Через наружный слуховой проход звуки передаются на барабанную перепонку, расположенную в конце слухового прохода и отделяющую его от среднего уха. Энергия звуковой волны вызывает механические колебания барабанной перепонки, которые передаются на подвижную систему косточек, находящихся в среднем ухе. Эта система состоит из молоточка, наковальни и стремечка, соединенного с улиткой внутреннего уха. Такая система рычагов нужна для усиления колебаний барабанной перепонки. Движения стремечка вызывают волнообразные колебания жидкости внутреннего уха. Эти волны, в свою очередь, передаются на так называемые волосковые клетки, расположенные вдоль всей длины улитки. В состав основной (базиллярной) мембраны входят около 24000 поперечных волосковых клеток, слабо связанных между собой.

Как мозг различает звуки? Слуховой нерв оканчивается 23 500 тысячами тончайших нервных окончаний. Каждое окончание начинается от определенного участка улитки и передает информацию о сигналах определенной звуковой частоты. Низкочастотные звуки – например, шум машины или поезда, передаются по волокнам, исходящим из верхушки улитки, а высокочастотные – например, щебет птиц, – по волокнам, связанным с ее основанием. Таким образом, различные звуки вызывают электрическое возбуждение различных волокон слухового нерва. Именно эти различия способен воспринимать и интерпретировать мозг. Разрыв волосковых клеток приводит к необратимой потере слуха. По мере увеличения возраста человека, количество разрушенных волосковых клеток увеличивается. Особенно активно происходит их разрушение в условиях повышенного уровня шумов.

Необходимо сделать риторический вывод, что звукооператор или звуко-режиссер должен особенно трепетно заботиться о своем профессиональном инструменте – слухе. Больше склонны к разрывам волокна, передающие сигналы о высокочастотных звуках. Поэтому с возрастом у человека ухудшается слух в первую очередь на высоких частотах. В таких случаях звуки слышны приглушенно, как будто уши закрыты ватой.

Но мы воспринимаем звук и другими частями тела. Это не маловажное уточнение, поскольку в задачу звукорежиссера входит общее воздействие на слушателя: физиологическое, информационное, эмоциональное.

Поэтому восприятие звука через головные телефоны, при том же звуковом давлении и частотном спектре, существенно отличается от восприятия через акустические системы. Вибрации передаются через кости скелета человека и, кроме этого, воспринимаются через мягкие ткани, кожу. Необходимо отметить, что частотный диапазон восприятия вибраций выходит за пределы звукового. Другими словами, человек может воспринимать и инфранизкие частоты. Правда, справедливости ради, надо отметить, что абсолютное большинство акустических систем не могут излучать эффективно инфразвуковые колебания.

Восприятие звука по частоте

Волосковые клетки основной мембраны имеют разную длину, толщину и массу, в результате этого они имеют разные собственные резонансные частоты. Под воздействием звука определенной частоты, волосковые клетки, резонансная частота которых близка к этой частоте, начинают колебаться с большей амплитудой, чем другие волокна, возбуждая одно из окончаний слухового нерва сильнее, чем другие.

Восприятие звука по амплитуде

Представим, что амплитуда звуковых колебаний постепенно возрастает, начиная с нуля. Волосковые клетки постепенно увеличивают амплитуду колебаний, но нервные окончания находятся на некотором расстоянии от них и поэтому, до определенного момента, клетки не соприкасаются с нервами. В этом

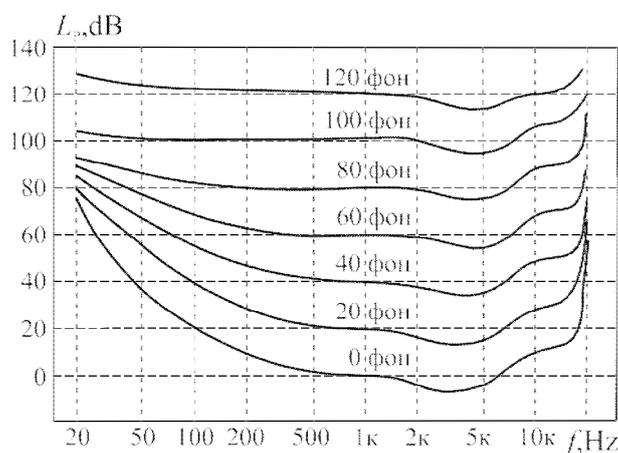
случае возбуждение нервных окончаний не происходит и человек звук не слышит. При дальнейшем увеличении амплитуды колебаний наступает момент, когда волосковые клетки достигают нервных окончаний и вызывают их возбуждение. С этого момента человек начинает слышать звук.

Такое пороговое значение звукового давления или интенсивности, при котором человек начинает слышать звук, называют порогом слышимости.

Вероятно, природа позаботилась о том, чтобы мы не слышали избыточную звуковую информацию ниже порога слышимости, например, звук пульсации крови в кровеносных сосудах и т.д.

Кривые равной громкости

Сначала определим, что называют кривой равной громкости. Если мы слушаем чистый тональный звук, то на разных частотах необходимо будет изменять уровень звукового давления, чтобы громкость звучания оставалась неизменной. Измеряя ряд значений давлений при разных частотах для равной громкости, получим графическую зависимость $P_{зв}(f)$. Это и есть кривая равной громкости.



Кривые равной громкости при разных уровнях давлений отличаются. Как видно из рисунка, при высоких уровнях давлений кривая становится более ровной, чем при низких уровнях и чувствительность слуха на всех частотах звукового диапазона примерно одинакова. При низких уровнях давлений, чувствительность слуха, на разных частотах, существенно отличается. На основании

этого можно сделать вывод, что тихое прослушивание фонограмм по частотному балансу будет отличаться от громкого прослушивания.

Динамический диапазон слуха человека

Динамическим диапазоном слуха называют разницу между максимальным уровнем звукового давления, допустимым для прослушивания, и порогом слышимости.

Громкость звука измеряется в децибелах и обозначается дБ. Единица измерения названа в честь Александра Грэма Белла. Приставка деци применяется для обозначения единиц в долях, равных 1/10. Соответственно, децибел – это 1/10 Бела.

Чувствительность человеческого уха к громкости звука носит логарифмический характер, поэтому мощность, выраженная в децибелах, точнее отражает восприятие звуков:

Звуковые давления некоторых объектов

Порог слышимости	0 дБ
Спокойное дыхание	10 дБ
Тишина в горах	10 дБ
Тихий шепот на расстоянии 1 м	15 дБ
Шелест страниц	20 дБ
Территория жилого района ночью	35 дБ
Фоновый шум в квартире	43 дБ
Шепот на расстоянии 10 см	50 дБ
Аплодисменты	60 дБ
Виолончель	70 дБ
Тихая игра на фортепиано	70 дБ
Игра на акустической гитаре пальцами; звук на	70 дБ
Игра на акустической гитаре медиатором; звук	80 дБ
Фортепиано	80 дБ
Пение женское	80 дБ
Автомобиль легковой	80 дБ
Шумная улица	80 дБ
Пение мужское	85 дБ
Орган	85 дБ
Сильное уличное движение с расстояния 5 м	85 дБ
Шум в метро во время движения	90 дБ

Эстрадный оркестр	100 дБ
Громкий голос на расстоянии 15 см	100 дБ
Отбойный молоток	100 дБ
Мотоцикл без глушителя	110 дБ
Фортиссимо симфонического оркестра	110 дБ
Гром	110 дБ
Реактивный самолет на расстоянии 5 м	120 дБ
Болевой порог	120 дБ
Барабанный бой на расстоянии 3 см	140 дБ
Выстрел из орудия	220 дБ

Восприятие звука по тембру

Что же такое тембр звука? На сегодняшний день не существует абсолютно однозначного определения такой характеристики звука, как тембр. Много известных ученых–исследователей давали свои определения, но со временем, с развитием науки и техники эти определения в той или иной мере дорабатывались и уточнялись. Поэтому я только попытаюсь выделить из общего ряда наиболее важное.

Изначально тембр можно определить как окраску звука. Эту характеристику в большей мере можно назвать субъективной, чем объективной, по той причине, что она связана с достаточно большим числом разнообразных объективных характеристик звука. Полный перечень таких характеристик до настоящего времени однозначно еще не определен. Однако ряд из них мы можем обсудить и оценить.

Предположим, что мы сравниваем два звука с одинаковым уровнем и одинаковой тональностью, которые воспроизводятся однотипными музыкальными инструментами – например щипковыми струнными. Почему же звучание таких инструментов может достаточно сильно отличаться?

Разница звучания будет в первую очередь определяться следующими характеристиками:

- разницей частотного спектра звуков;
- формой огибающей для каждого обертона;
- наличием субгармоник;

фазовой разницей каждого обертона и субгармоник.

Тембр звучания в значительной мере будет определяться количественным и качественным составом гармонических колебаний из приведенного ряда (наличием четных, нечетных или всех гармоник).

Кроме этого, если построить графическую зависимость амплитуды от времени для каждой составляющей ряда, то можно получить форму их огибающих. Ряд практических опытов свидетельствует о том, что формы огибающих также оказывают значительное влияние на субъективное восприятие звука. Изменение формы огибающей, особенно во время атаки, может изменить звук до неузнаваемости.

Понятие основного тона

Представим себе звучание фортепиано после нажатия на одну из его клавиш. «Услышанный» нами звук состоит из основного тона и обертонов (гармоник). Основной тон (в данном случае с низшей частотой) определяет высоту ноты. По обертонам же мы различаем музыкальные инструменты, даже когда на них берется одна и та же нота. Обертоны важны тем, что они во многом определяют тембр инструмента и задают характер его звучания.

В подавляющем большинстве случаев основные тона музыкальных инструментов и, особенно, человеческого голоса не остаются стабильными в процессе звукоизвлечения – колеблется как их амплитуда, так и частота. Любопытно, что более приятное впечатление при пении создает голос с основными тонами, колеблющимися с частотой от 5 до 8 Гц.

Понятие обертонов

Обертон (от немецкого *oberton*, *ober* – верхний и *ton* – тон) – составляющая сложного колебания с частотой более высокой, чем основной тон. Обертоны, частоты которых относятся к частоте низшего (основного) тона как целые числа 1:2:3 и так далее, называются гармоническими, или гармониками; если же зависимость оказывается более сложной – негармоническими.

Понятие форманты

Среди негармонических обертонов самыми интересными являются частоты, объединенные в узкие и относительно громкие зоны – *форманты*. Таким образом, формантой называют заметно усиленную область частотного спектра звукового колебания.

В музыкальных инструментах форманты возникают не столько за счет колеблющегося тела, сколько независимо от него – из-за колебаний резонатора.

Частота форманты всегда выше основного тона. Если же частота основного тона меняется и при этом превышает частоту колебания форманты, то последняя по завершению резонансного процесса выпадает.

Форманты, как правило, придают звуку инструмента тембр одной из гласных. Так, например, у гобоя ярко выражена краска гласного звука «а», а у тубы – «у».

Понятие форманты (F) чаще, чем в музыке, применяется в науке о речи – фонетике, где оно обозначает *«акустическую характеристику звуков речи (прежде всего гласных), связанную с уровнем частоты голосового тона и образующую тембр звука. В спектре звука выделяются несколько формант (например, $F1$ – 500 Гц, $F2$ – 1500 Гц и т. д.). Среднее расстояние между формантами составляет для мужских голосов 1000 Гц, для женских и детских – несколько больше. Однако в большинстве случаев для различения гласных звуков достаточно двух первых формант»*.

При пении, кроме речевых, возникают характерные певческие форманты. Одна из них – *высокая певческая форманта*, расположена в области 2100...2500 Гц у басов, 2500...2800 Гц у теноров, 3000...3500 Гц у сопрано. У оперных певцов в этих частотных полосах сосредоточивается до 30% акустической энергии, что придает голосу блеск, серебристость, способствует «полетности» звучания, хорошей разборчивости гласных и согласных звуков. Другая – *низкая певческая форманта*, расположенная в зоне 500 Гц, придает звучанию мягкость и округлость.

Отличия мужского и женского голосов - их основные тона могут отли-

чаться на октаву, основные формантные частоты оказываются разнесенными в среднем на полутон, а диапазоны вибрато – колебаний основного тона – отличаются мало.

Нелинейный характер слуха. Субъективные тона

В результате взаимодействия между гармоническими составляющими, с близкими частотами, могут возникать новые, разностные гармоники, с частотами более низкими, чем основная, первая гармоника. Эти составляющие называют низкочастотными биениями или субгармониками. Такая ситуация может возникнуть при суммировании нескольких разных звуков (например, при колебании двух струн в унисон).

Когда на скрипке одновременно и громко проигрываются две ноты, начинает звучать третий тон, отсутствующий при тихом исполнении того же созвучия. Многочисленные эксперименты позволили установить, что эти дополнительные – «субъективные» тоны возникают непосредственно в слуховой системе и являются следствием ее нелинейности. Особенно ярко данная нелинейность проявляется на очень тихих и крайне громких звуках. Так, например, если слушатель воспринимает тон частотой 1 кГц с уровнем громкости 100 дБ, то кроме самого звука он услышит вторую гармонику 2×1 кГц с уровнем 88 дБ, третью 3×1 кГц с уровнем 74 дБ и так далее.

Направленные свойства слуха

Слух человека позволяет определять направление на источник звука и расстояние до него. Другими словами, слух позволяет локализовать источник звука.

Ушная раковина и слуховой проход представляют собой своего рода рупор. Рупор обладает направленными свойствами, как при приеме звука, так и при излучении. Направленные свойства рупора начинают проявляться при условии, если его длина равна или больше четверти длины звуковой волны.

Наиболее эффективно эти свойства проявляются в диапазоне частот от 5...7 кГц до 20 кГц. Точность определения направления при этом равна углу примерно 20° .

При моноуральном слушании направленные свойства слуха будут проявляться, если в спектре частот будут присутствовать высокочастотные гармоники. В противном случае, при наличии в спектре только низкочастотных гармоник, определить направление на источник звука или очень сложно или невозможно. Это будет зависеть от верхней границы частотного спектра.

При бинауральном слушании появляется так называемый стереоакустический эффект. Бинауральное слушание заметно повышает чувствительность слуха к ряду характеристик звука. Это связано с тем, что при слушании одним ухом происходит субъективная оценка абсолютных параметров звука, а при слушании двумя ушами к абсолютной оценке добавляется и относительная, сравнительная оценка. При сравнении двух близких параметров легче заметить разницу или сходство между ними, чем при оценке одного параметра. Благодаря такому свойству, заметно повышается дифференцирующая способность слуха.

Слушатель может также определять и расстояние до источника, правда точность определения невысока. В пределах нескольких метров погрешность будет около 20. . . 30%, но при больших расстояниях погрешность существенно возрастает. Если при малых расстояниях определение дальности до источника происходит в основном за счет направленности слуха, то при больших – в основном за счет изменения интенсивности звука и изменения спектральных характеристик. Однако точность определения расстояния не так уж и важна, более важно то, что слушатель слышит перспективу, объемные характеристики звукового поля. Например, он может слышать относительное расположение музыкальных инструментов симфонического оркестра в пространстве.

Эффект маскировки

В реальных условиях мы слышим множество различных звуков, отличающихся по спектральному составу, по интенсивности, по локализации и т. д.

Каждый из этих звуков может влиять в той или иной мере на восприятие слушателем других звуков. Такое влияние, при котором у слушателя ослабляется способность различать часть звуковых составляющих из общего суммарного спектра, называют эффектом маскировки.

Маскировка звука по уровню

Одним из параметров звуковых колебаний, влияющим на маскирование, является уровень мешающего звука (маскера). При повышении уровня маскера, у слушателя будет повышаться порог слышимости и, как следствие, будет понижаться чувствительность к основному звуковому сигналу. Если повышенный порог слышимости превысит уровень полезного сигнала, то слушатель перестанет его различать. Можно утверждать, что чем выше уровень маскера, тем больше повышается порог слышимости и, тем сильнее будет маскироваться полезный сигнал.

Маскировка звука в частотной области

Практические опыты свидетельствуют о том, что эффект маскировки проявляется неодинаково в разных областях частотного спектра и зависит от частотных свойств маскера и маскируемого звука.

Эффект маскировки будет сильнее, если маскер охватывает более низкочастотную часть спектра, чем маскируемый звук. Проще говоря, басы являются более сильным маскером для высокочастотных звуков, чем наоборот. Чем шире спектр частот маскера относительно спектра частот маскируемого звука, тем сильнее маскировка.

Эффект Хааса

Если в пространстве находятся два отдельных источника, которые излучают одинаковые звуки, с равными интенсивностями, но один из них опережает по времени другой, то для слушателя, опережающий звук будет доминировать над другим. Такую особенность восприятия звука называют эффектом Хааса.

Эффект Хааса оказывает дополнительное влияние на локализацию источника звука. Его можно наблюдать при условии, если временная задержка между двумя звуками не превышает значение 50 мс. В этом случае можно утверждать, что опережающий звук является маскером для задержанного.

Тема 5. Локализация источников звука

За время своего эволюционного развития хомо сапиенс выработал определенную систему слуха, позволяющую по звуку определять расстояние *до* и направление *на* источник этого звука. Слуховая система помогла человеку выжить в условиях естественного отбора, предоставляя возможность определить, с какой стороны появится хищник или иная угроза.

Необходимость извлекать из услышанного большое количество информации возникла у человека значительно позже и была, скорее всего, обусловлена развитием речи. За относительно короткий исторический период существования «говорящего хомо сапиенса» природа не успела внести существенные коррективы в улучшение слуха. Мы по-прежнему плохо слышим друг друга – если обычную улыбку мы способны распознать с расстояния до 100 метров, то возможность общения сохраняется лишь на сравнительно небольшой дистанции и в относительной тишине.

Теория, описывающая свойства слуха, делится на две части. В первом разделе анализируются особенности моноурального восприятия звука. Например, расстояние до источника звука можно определить и одним ухом, закрыв второе, хотя бинауральное восприятие, изучаемое во второй части теории и основанное на суммировании потоков информации от двух слуховых подсистем – левого и правого уха, – существенно повышает точность и облегчает слуховую оценку дальности.

Особенности моноурального восприятия

Рассмотрим особенности моноуральной локализации. Для оценки расстояния до источника звука в чистом поле (то есть при отсутствии отражений)

нервная система использует банк памяти звуков. Человек способен запомнить среднюю громкость и тембральные характеристики типовых источников, проанализировать изменения громкости и тембра, произошедшие при прохождении звуковой волной определенного расстояния.

Степень уменьшения громкости по мере прохождения звуковой волной единичного расстояния зависит от диаграммы направленности излучателя. При анализе расстояния слушатель исходит из памяти средней громкости данного источника и возможности ее уменьшения, связывая источник с тем или иным типом направленности.

Изменение тембра в зависимости от расстояния происходит следующим образом: низкие частоты распространяются с меньшим удельным затуханием, высокие частоты имеют более высокий коэффициент затухания при прохождении единичного расстояния. Таким образом, звуки, раздающиеся издали, содержат меньше высоких частот.

В помещении оценка расстояния до источника происходит проще и с более высокой точностью, так как нервная система получает для анализа массу дополнительной информации, извлекаемой из отраженных звуков. Анализируются время задержки и уровень ранних отражений, относительный уровень и время затухания реверберации. Частотный состав реверберации содержит дополнительную информацию о размере помещения. А значение акустического отношения с учетом размера помещения дает основания предполагать реальное расстояние до источника.

Бинауральное слияние. Если источник сигнала расположить в свободном от отражений поле, то его звуковые волны будут поступать в оба уха с определенным различием во времени, по интенсивности и спектру. В итоге нервная система начнет анализировать пару подобных, но не идентичных звуков, которые сольются в единый образ. Первая фаза анализа носит название «бинауральное слияние» и определяет общие для обоих каналов характеристики с целью извлечения из сигнала полезной смысловой информации. Во второй

фазе, наоборот, анализируются различия в каналах и решается задача получения информации о месторасположении источника звука и характеристиках окружающего пространства.

Наиболее важными для бинаурального слияния являются звуки с частотой ниже 1500 Гц. Можно провести характерный эксперимент: подадим в наушники два высокочастотных звука с разными частотами – они будут восприниматься на слух как отдельные звуковые сигналы. Если изменить условия опыта – промодулировать исходные сигналы низкочастотной огибающей, то оба сигнала сольются в единый слуховой образ. Результат свидетельствует о том, что нервная система для целей бинаурального слияния использует низкочастотную огибающую комплексного звука, то есть его макроструктуру, несмотря на то что детали составляющих комплексного звука – его микроструктура – различаются. Это доказывает и следующий эксперимент: если в одно ухо поступают только высокочастотные компоненты речевого звука, а в другое – только низкочастотные (при этом ни одно ухо не получает достаточной информации для распознавания речевого сигнала), то получаемый в результате бинаурального слияния слуховой образ позволит распознать и проанализировать речь. Говоря научным языком, механизм бинаурального слияния звуков можно описать в виде математической модели, которая основывается на поиске центральной нервной системой перекрестных корреляций между звуковыми сигналами в обоих ушах. Другими словами, используется поиск общих признаков в обоих каналах. Результаты поиска позволяют выделить из шума периодические компоненты сигналов, что, в частном примере, и позволяет понять речь.

Бинауральная локализация

Одновременно с выделением общих признаков ведется поиск отличий в тех звуковых сигналах, которые несут полезную для слушателя информацию. На основании анализа этих отличий нервная система способна сделать вывод о месторасположении источника в пространстве относительно слушателя и характеристиках окружающего пространства. При этом человек в состоянии

определить, как удаленность источника звука, так и направление, с которого приходит звуковая волна.

Оценка расстояния до источника звука при бинауральной локализации в целом аналогична одноканальной системе, однако, наличие двух разнесенных приемников звука существенно повышает точность и облегчает слуховую оценку расстояния.

В закрытых помещениях, наряду с прямым звуком, не менее важным фактором, обуславливающим глубинную локализацию, становится акустическое отношение, также воспринимаемое двухканальной системой с большей верностью, нежели при моноуральном восприятии.

Если звук приходит к слушателю сбоку, то в ухе, обращенном к источнику сигнала, создается избыточное давление, а в противоположном ухе, затененном головой, оно оказывается заметно меньше. По разнице уровней звуковых давлений аналитический слуховой аппарат принимает решение о направлении прихода звука.

Не менее важную роль, чем разность уровней, играет разность времен прихода сигналов к обоим ушам. Если принять расстояние между ушами, равное 21 сантиметру, то при боковом звуке задержка прихода звуковой волны к одному из ушей может составить 630 микросекунд. Этой разности более чем достаточно для определения местоположения источника звука.

Интересный характер имеет зависимость локализации азимута от частоты. На частотах ниже 150 Гц азимутальная локализация практически невозможна. В спектральной полосе от 150 до 500 Гц азимутальное направление определяется на основе разницы громкостей, услышанных правым и левым ухом. На частотах от 500 до 1500 Гц азимут «рассчитывается» как по разнице громкостей, так и по разнице времен (фаз) звуков.

Эксперименты показывают, что локализация звуковых объектов обеспечивается не только аналитической работой центральной нервной системы, отдельные мышцы тела также принимают активное участие в пространственной ориентации. Когда мы рассматриваем какой-либо объект, мы не осознаем, что

наши глаза находятся в непрерывном движении. Аналогичный процесс происходит и со слухом – поворачивая голову влево-вправо, мы «прослушиваем» источник, отмечаем произошедшие изменения и анализируем полученную информацию. Буквально несколько градусов свободы движения предоставляют системе анализа массу дополнительной информации, значительно улучшающей локализацию.

Монофонические фонограммы

Звукозапись родилась и долгое время развивалась в простейшем одноканальном варианте, который впоследствии был назван монофоническим (от греческих *monos...* – один и *phone* – звук).

Широко распространено мнение о том, что монофоническая запись принципиально не может нести информацию об объемном звуке. Это не так. Профессионально выполненная одноканальная фонограмма способна создавать впечатление наличия нескольких разнесенных в пространстве источников звука. Кажущийся объем будет задаваться единственным параметром – глубиной расположения объектов за акустической колонкой. Многочисленные эксперименты показали, что при прослушивании монофонической фонограммы любой человек, не напрягаясь, может локализовать 3...4 отдельных фронта. Первый – в точке установки колонки, если звук сухой, без реверберации, громкий, с мощной ВЧ составляющей. Последующие – двумя-тремя равными шагами за колонкой. При этом звук с каждым фронтом будет становиться тише, глуше, относительный уровень реверберационной составляющей станет больше. Если все три параметра сбалансированы правильно, то на аппаратуре высокого класса в хорошей акустической обстановке слушатель уверенно различит 4 отдельных фронта.

Двухканальные стереофонические фонограммы

Определение «стерео...» происходит от греческого слова *stereos*, которое в одном из значений переводится как «объемный, телесный, пространствен-

ный» и применяется как часть слов, указывающая на объемность или на наличие пространственного распределения (например, стереометрия, стереокино).

Первый опыт стереофонической передачи был осуществлен Адером и Пускасом в 1881 г. на всемирной выставке в Париже. Он заключался в двухканальной передаче звука из оперного театра по телефонным линиям. Большой вклад в совершенствование теории стереофонии внесли в 30-х гг. прошлого века работы немца Блюмляйна. К 1956 г. относится появление в широкой продаже первых стереофонических пластинок. В 1953 г. было предложено применять термин «стереофония» для всех способов передачи звука с двумя или более каналами. Поскольку в те времена массовое распространение получила наиболее простая двухканальная версия, этот термин за ней впоследствии и закрепился.

Стереофоническая двухканальная запись отличается от монофонической заданием направлений на источники звука. При стереофонии создаются кажущиеся (мнимые или «виртуальные») источники звука, которых не существует в реальном пространстве – они возникают лишь в сознании слушателя. Термин «виртуальный» происходит от латинского *virtualis* – условный, кажущийся, который может или должен проявиться.

Механизм локализации виртуальных источников звука похож на аналогичный процесс для реальных источников, находящихся в помещении. Алгоритм анализа многолучевых акустических отражений, возникающих в помещении, сходен с алгоритмом локализации мнимых источников, созданных двухлучевым излучением пары колонок. При этом информация, передаваемая в обоих лучах, взаимосвязана и содержит материал для интенсивностной, фазовой и тембральной локализации кажущихся источников звука. Главное отличие состоит в том, что слушатель должен размещаться в определенной, строго ограниченной зоне пространства относительно пары колонок.

Разрешающая способность двухканальной стереофонии

Условия, при соблюдении которых стереофонические фонограммы предпочтительнее монофонических – главным из этих условий является наличие

пространственного впечатления (или объемности звучания), создаваемого у слушателя, когда местоположение источников звука может быть четко локализовано. Если четкой локализации не будет – большинство слушателей предпочтут простое моно.

У монофонической фонограммы количество полезной информации о гармонической и мелодической составляющих звуковой картины почти такое же, как в стереоварианте, но объем общей информации, поступающей для слухового анализа, заметно меньше.

Таким образом, плохая стереофония требует большей концентрации внимания, что не оправдывается усилением эмоционального впечатления.

Исходя из всего вышеизложенного перед звукорежиссерами возникает серьезная проблема, которая, к сожалению, не находит адекватного решения в современной практике звукозаписи.

В соответствии с законом «первой волны», подробно описанным Хаасом в 1949 г., направление прихода звука оценивается на основании анализа прихода прямого звука. Если схожие звуки поступают с разных направлений с разницей по времени не более 50 миллисекунд, то мозг автоматически объединяет прямой звук и его повторения. В результате человек слышит один звук, но обогащенный информацией об акустике помещения. Если же прямой звук и его задержанные копии приходят с одного направления, то повторения воспринимаются слушателем уже как изменение тембра и не анализируются как информация о пространстве.

Ранние отражения в составе реверберационного отклика, приходящие вслед за прямым звуком, хотя и не задают направление, но способны в определенной степени улучшить локализацию азимута. Средние и поздние отражения имеют диффузный ненаправленный характер, поэтому их детальный слуховой анализ на предмет локализации был бы бесполезен.

Если интенсивность прямого звука меньше, чем у реверберационной составляющей, то локализация направления прихода звука значительно ослож-

няется, хотя в большинстве случаев остается возможной вплоть до относительного уровня минус 10 дБ и запаздывания реверберации до 30 миллисекунд.

Следует рассчитывать на расслабленное прослушивание и не злоупотреблять вниманием слушателя, создавая сложные для восприятия конструкции, состоящие из большого числа отдельных зон. Вероятно, звукорежиссеру следует подавать звуковой материал в таком виде, чтобы большинство его нюансов были доступны человеку в расслабленном состоянии при прослушивании на аппаратуре среднего класса в условиях реальной жилой комнаты.

Студийная запись стереофонических фонограмм производится с целью домашнего прослушивания с использованием стереокомплекса, содержащего отдельные (разнесенные) акустические колонки. При записи учитываются акустические параметры стандартной жилой комнаты: объем 60 метров кубических, время реверберации 0,4 секунды. В стандартном помещении колонки относительно слушателя рекомендуется устанавливать в вершинах равностороннего треугольника со сторонами $L1 = L2 = L3$, равными 3 метрам.

Акустические параметры помещения могут существенно отличаться от типовых значений. В этом случае формат равностороннего треугольника следует сохранить, но расстояние L следует определить в результате простейшего эксперимента.

Подайте в одну из колонок любую музыкальную фонограмму. Единственное условие в ее выборе – звук должен быть максимально «сухой», без «реверберации», то есть создающий минимальное ощущение акустического объема (лучше всего использовать запись с голосом певца и аккомпанирующей группой небольшого состава). Установите традиционный для вас уровень громкости. Подойдите вплотную к колонке и станьте к ней лицом. Затем, не разворачиваясь, медленно удаляйтесь от нее. На каком-то определенном расстоянии вы должны услышать кроме основного звука явно ощутимый призывок вашего помещения. Уточните данное расстояние с точностью до 10...20 сантиметров и измерьте его. Это и будет искомое расстояние L .

Обратите особое внимание на особенности баланса центральных точек стереофонической панорамы. Раздвиньте колонки на некоторое расстояние относительно центральной оси. Это действие должно привести к «провалу» звука в центральной части панорамы. Попробуйте обратный эксперимент – сдвиньте колонки ближе расчетного расстояния. Теперь середина будет звучать значительно громче боковых точек.

Выбор расстояния между акустическими системами – компромисс между шириной звуковой сцены и остротой восприятия центрального звукового образа. Чем дальше друг от друга расположены громкоговорители (при неизменном расположении слушателя), тем шире будет воспроизводимая звуковая сцена. В то же время, при дальнейшем увеличении дистанции отчетливость восприятия звукового образа в центре падает, вплоть до полного исчезновения центральной части стереофонической панорамы. Если же громкоговорители расположены слишком близко друг от друга, ширина звуковой сцены невелика.

Возможны два правильных варианта ориентации динамиков. В первом случае их оси могут пересекаться перед головой слушателя, во втором – за головой. Оба варианта имеют свои достоинства и недостатки. В первом примере панорама приобретает более законченный вид, во втором – она воспринимается с большим объемом. Наименее предпочтителен средний вариант, когда оси колонок направляются прямо в уши слушателю.

В этом случае проявляется неприятная особенность высокочастотных динамиков, которые именно вдоль оси имеют наибольший коэффициент искажений и посторонних призвуков.

Немаловажную роль играет высота расположения центров высокочастотных динамиков. Если ВЧ головки располагаются выше горизонтальной плоскости, в которой находится голова слушателя, вследствие условного рефлекса он будет стремиться направлять взгляд на источник звука, что приведет к повышенной утомляемости и определенному раздражению от процесса прослушивания. При слишком низком размещении колонок в точке прослушивания может не хватить высоких частот.

Близость колонок к стенам усиливает басы. В случае, когда громкоговоритель расположен около стены, энергия отраженных от нее низкочастотных составляющих излучаемого звука имеет почти ту же фазу, что и прямой звук. При суммировании прямых и отраженных волн происходит повышение громкости НЧ составляющих.

Расстояние от линии громкоговорителей до задней стены оказывает большое влияние на возникновение так называемых «стоячих волн», когда звуковые лучи, излучаемые динамиками, определенным образом складываются с отражениями от поверхностей помещения, в результате чего тембральная линейность воспроизведения нарушается. Для борьбы с этим явлением рекомендуется выбирать расстояние от задней стены до колонки равным примерно трети от длины помещения. Если это правило трудновыполнимо, попробуйте уменьшить указанное расстояние до одной пятой от длины комнаты. В идеале и место слушателя рекомендуется располагать на расстоянии примерно $2/3$ длины комнаты.

Для уменьшения эффекта стоячих волн следует стремиться к размещению колонок на разных расстояниях от боковых и тыловой стен.

И еще одна закономерность в размещении динамиков. Чем дальше от задней стены находятся громкоговорители, тем обширнее звуковая сцена. Размещая их близко от задней стены, практически невозможно получить глубокую и широкую звуковую сцену. Отодвинув громкоговорители всего на несколько десятков сантиметров, пространственная панорама кардинально улучшается.

РАЗДЕЛ 2. АКУСТИКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Тема 6. Классификация музыкальных инструментов

У музыкальных инструментов имеются три основные части: колеблющийся элемент, механизм для его возбуждения и дополнительный резонатор (рупор или дека) для выделения нужных гармоник и их последующего акустического усиления. В зависимости от характера этих составляющих музыкаль-

ные инструменты принято делить на некоторое количество типов. Существуют различные системы классификации. Приведем некоторые из них.

Трехгрупповая система классификации музыкальных инструментов

Общеизвестна трехгрупповая система, подразделяющая музыкальные инструменты на:

- духовые;
- струнные;
- ударные.

В свою очередь, *духовые* подразделяются на:

- деревянные (флейта, гобой, кларнет, саксофон, сарюзифон, фагот и их разновидности);
- медные (труба, корнет, валторна, тромбон, туба, инструменты духового оркестра).

А струнные на:

- щипковые (арфа, лютня, гитара);
- смычковые (семейства скрипок и виол).

К ударным относятся:

- литавры, барабан, ксилофон, челеста, гонг, тарелки и другие.

Дальнейшее деление производится по особенностям конструкции инструмента. Так, например, флейты делятся на продольные (открытые и свистковые), поперечные и многоствольные; струнные – на струнно-клавишно-щипковые (спинет, клавесин) и струнно-клавишно-ударные (фортепьяно, клавикорд) и так далее.

Среди современных музыкальных инструментов особую группу составляют электрические, источником звука которых служат генераторы колебаний звуковой частоты. Эти инструменты подразделяются в основном на две подгруппы: электронные (собственно электроинструменты – клавишные синтезаторы, компьютерные сэмплеры, терменвоксы и другие) и адаптированные, то

есть инструменты обычного типа, снабженные встроенными звукоснимателями (электрогитара, электроскрипка, электровиолончель и другие).

Акустические характеристики музыкальных инструментов

Все инструменты разные. Каждый имеет свои художественные возможности, обуславливающие их роль в ансамбле, и свои акустические особенности, накладывающие отпечаток на технологию озвучивания в процессе «консервации звука». При записи живых инструментов нужно постараться сохранить красоту их естественного звучания, подчеркнуть их индивидуальность, запоминающиеся особенности. Поэтому на акустические характеристики музыкальных инструментов следует обратить особое внимание.

С точки зрения звукорежиссера немаловажное значение имеют:

- характер атаки и затухания звука;
- частотный диапазон и спектр звучания с характерными формантами и шумами;
- громкость излучения и динамический диапазон;
- характеристика направленности излучения.

Характер атаки и затухания звука

Время атаки определяет виртуозные характеристики инструмента, возможность исполнения на нем коротких звуков. Короткая атака, как правило, порождает большое количество обертонов, в том числе расположенных в высокочастотной части спектра, что улучшает различимость инструмента в ансамбле. Так, например, ударные инструменты, особенно треугольник, всегда прекрасно слышны, даже находясь позади оркестра. У многоголосного инструмента от характера атаки зависит рельефность, прозрачность фактуры – полифоническая музыка на клавесине (атака около 10 мс) звучит гораздо прозрачнее, чем на органе (атака до 500 мс).

Характер атаки имеет настолько большое значение, что без этой фазы звучание разных музыкальных инструментов не различается даже самими музыкантами.

У медных духовых инструментов (особенно у валторны и тубы) развертывание звука происходит медленно и, в отличие от ударных, начинается не с амплитудного пика, а с нуля, постепенно достигая полной амплитуды колебаний.

По окончании атаки наступает фаза удержания звука. Период стационарного состояния является наименее значимой частью звукового периода. Его главная роль заключается в формировании основного тона.

Частотный диапазон и спектр звука

Частотным диапазоном принято называть диапазон частот основных тонов, который определяет тесситурные возможности инструмента. Человеческий голос перекрывает примерно две октавы, музыкальный инструмент – от трех до десяти октав. Спектр звука не ограничивается зоной основных тонов и распространяется вверх – в область уверенно воспроизводимых гармонических обертонов, а также вверх и вниз – в зону шумов.

Тембр – обертоны и форманты

За небольшим исключением (флейта – одно из них), из инструмента нельзя извлечь одночастотный звук. При возбуждении основного вибратора неизбежно возникают обертоны основного тона, которые обуславливают тембровые отличия звучания конкретного экземпляра музыкального инструмента. Особенности тембра зависят от наличия определенных гармоник и распределения энергии между ними.

При изменении высоты звука, в большинстве случаев, распределение энергии по гармоникам изменяется так, что основные обертоны всегда располагаются примерно в одном и том же частотном диапазоне, который называется диапазоном формант. Одной из причин существования формант является

существование резонансных элементов для усиления звука, таких как дека и воздушный резонатор. Например, у медных духовых инструментов форманты определяются раструбом, из которого выходит звук.

Громкость излучения и динамический диапазон

Громкость текущего звучания инструмента зависит от нескольких факторов: выразительной возможности инструмента; замысла композитора, обозначенного в партитуре специальными символами; задачи, поставленной дирижером; мастерства исполнителя.

Градации динамики имеют в музыке лишь относительное значение. Абсолютная величина громкости зависит от многих факторов, в том числе от типа инструмента, при ансамблевом исполнении – от количества партий и числа исполнителей на каждую партию, а также от акустических свойств помещения. Так, по абсолютному значению piano на трубе гораздо громче, чем forte вокалиста, громкость звучания piano у целого хора значительно выше, чем у отдельного его участника.

К сожалению, большинство музыкальных инструментов имеют различную громкость в разных регистрах. Перед композитором стоит задача учесть динамические особенности применяемых инструментов и заложить фундамент музыкального баланса еще на этапе замысла произведения. Если некоторые инструменты или их группы при звукоизвлечении в пределах заданного диапазона не могут справиться с поставленной задачей, следует предусмотреть вспомогательные партии других инструментов, поддерживающие недостаточную динамику основной группы.

Тема 7. Музыкальные инструменты. Ударные инструменты. Тимпаны или литавры

Литавры (ит. timpani, фр. timbales, нем. Pauken, англ. kettledrums) классифицируются как определенно-высотный ударный мембранофон. Название инструмента, вероятно, произошло от позднегреческого словосочетания *lito* – много

и *tavrea* – барабан. Первоначальное название инструмента – тимпаны – происходит от латинского *tympanum*, которое в свою очередь ведет свое происхождение от равнозначущего греческого «тумпанон». Греки произвели его от древнееврейского *thop*, от которого и образовали глагол «тупто», что значит «бить», «ударять», «выбивать». Из истории названия видно, что это древний и наиболее заслуженный представитель ударной группы симфонического оркестра.

Тимпаны представляют собой набор нескольких металлических полушарий («котлов»), обтянутых сверху кожей или пластиком. Чаще всего встречаются три размера – большие, малые и средние литавры с диаметром от 550 до 700 миллиметров. Большая литавра имеет восемь винтов, средняя – семь, а малая – шесть. В зависимости от требований композитора особо может заказываться и самая маленькая литавра, имеющая пять винтов и сопровождаемая в партитуре дополнительным обозначением *petite*, *piccolo* или *kleine*. Такими литаврами располагают лишь очень большие оркестры оперных театров или филармоний, и рассчитывать на них повсеместно отнюдь не следует. В оркестре обычно четыре литавры, настроенные на разную высоту, хотя Берлиозу в «Реквиеме» их понадобилось больше пятнадцати.

Конструкция инструмента предусматривает подстройку натяжения мембраны с помощью набора специальных винтов. Однако высота звучания тимпанов в некоторой степени зависит и от силы удара.

Для извлечения звука на литаврах исполнитель пользуется двумя палочками с шарообразными головками, обтянутыми пушистым фильцем. В настоящее время литаврист имеет в своем распоряжении палочки трех типов, различающиеся своими размерами и применяемые для извлечения звука соответствующей окраски.

Звучность литавр также можно регулировать, изменяя зону удара. Так, тембр ударного звука становится звонче, если ударять по мембране ближе к ее краю. Самый красивый и сочный звук на литаврах извлекается обычно в промежутке между серединой кожи и ее краем. Удары у самого обруча способны породить несколько гнусавый, суховатый звук, лишенный всякого обаяния и

красоты. С другой стороны, удар по самой середине вызывает чрезвычайно гулкий и расплывчатый звук.

С точки зрения музыкальной акустики, литавры являются мощнейшим низкочастотным инструментом со спектром от 30 Гц до 1,5 кГц. Их динамический диапазон огромен – от еле слышимых *pianissimo* до громоподобных *fortissimo* и достигает значения 80 дБ. При этом они обеспечивают очень выразительное нарастание и спад звучности.

Несмотря на богатые выразительные возможности, литавры чаще применяются для ритмической поддержки других групп оркестра, нежели для самостоятельных сольных выступлений. Их удары подчеркивают ритм других инструментов, образуя то простые, то замысловатые ритмические фигуры.

Как правило, литавры озвучиваются общим микрофоном, устанавливаемым для всей ударной группы. Крайне редко дирижером может быть поставлена задача персонального озвучивания литавр.

Большой барабан

Современный большой оркестровый барабан (ит. *grancasso*, фр. *grossecaisse*, нем. *Große Trommel*, англ. *bassdrum*) существует в двух разновидностях. Одна из них – двусторонняя, принята в военных и джазовых оркестрах. Другая – односторонняя, используется во всех симфонических оркестрах, за исключением Америки.

Считается, что звук барабана не имеет определенной высоты, поэтому записывают его не на нотном стане, а на так называемой «нитке» – одной линейке, на которой отмечен только ритм.

Самое существенное отличие большого барабана, помимо его размера, заключается в том, что он не имеет струн под кожей и звук из него извлекается не палочкой, а большой колотушкой. Колотушка большого барабана состоит из деревянной рукоятки с большим обтянутым войлоком шарообразным наконечником. Такая колотушка пригодна для отдельных ударов внушительной

мощности, но для более сложных ритмических рисунков применяется колотушка с двумя наконечниками, из которых один больше, а другой поменьше.

Одиночные удары, как правило, приходятся на самую середину кожи большого барабана. Сильные доли такта обычно воспроизводятся ударом колотушки сверху вниз, а слабые, наоборот, – снизу-вверх. При исполнении ускоренной последовательности ударов такой способ исполнения заменяется другим. Исполнитель не отводит колотушку ни вверх, ни вниз, а бьет по коже под прямым углом к ее плоскости. Звук от такого удара получается немного суше и острее, но с чрезмерной продолжительностью звучания кожи. Для устранения этого дефекта применяется «сурдина», организуемая мгновенным наложением всех пальцев левой руки.

Поскольку большой барабан не обладает особой характерностью звука, он применяется преимущественно для поддержки всего оркестра при наивысшей громкости. Кроме того, его удары могут удачно изобразить специфические живописно-иллюстративные эффекты: пушечные выстрелы, гром и тому подобные.

Несмотря на то что звук большого барабана достаточно громкий, и при записи используется только незначительная часть его мощности, установка отдельного микрофона в непосредственной близости от излучающей поверхности помогает сохранить чистоту атаки.

Тарелки

На тарелках (ит. *piatti*, фр. *cymbales*, нем. *Becken*, англ. *cymbals*) играли еще 4 тысячи лет тому назад в Древнем Египте. В оркестре они появились во второй половине XVIII в. после войны с османами при исполнении так называемой «янычарской» (турецкой) музыки.

Металлические тарелки бывают разной величины – от 5 до 102 сантиметров в диаметре. Оркестровые тарелки представляют собой пару бронзовых дисков диаметром около 400 миллиметров, к центру которых прикреплены кожаные ремешки. Изредка в оркестровых партитурах используются так называемые

мые античные тарелки – очень маленькие, обладающие определенной высотой звучания в высоком регистре.

На тарелках играют стоя, чтобы высокочастотный звук свободно распространялся в воздухе над плоскостью оркестра. При игре тарелки ударяют друг о друга (быстрым скольжением наискосок) или бьют колотушкой по краю одной из них. Удар правой сверху вниз и левой снизу-вверх применяется обычно на сильных и относительно сильных долях такта, тогда как удар в обратном направлении применяется на слабых и относительно слабых долях такта. Если исполнитель хочет прекратить вибрацию тарелок, он подносит их к груди, и колебания затихают.

Звук тарелок в зависимости от способа и силы удара может получиться самый разнообразный – от звонкого, пронзительного, до еле слышного шепота. Звучание хороших тарелок должно быть тонально-неопределенным с широким частотным спектром – от 30 Гц до 16 кГц. После удара колебания с низкими и высокими частотами быстро затухают, и остаются звучать лишь частоты от 1 до 4 кГц. Распределение звуковых волн по площади этого инструмента носит явно неравномерный характер – в центре образуется неподвижный узел с узкополосным звучанием, а по краям – пучности с преобладанием низких частот. Тем не менее, динамический диапазон тарелок, превосходящий 60 дБ, зачастую не позволяет использовать возможность регулирования тембра звучания за счет выбора точки установки микрофона в ближней зоне инструмента. По этой причине приемник звука лучше всего отодвинуть на некоторое расстояние либо использовать общий микрофон озвучивания ударной группы.

Малый барабан

Малый барабан (ит. tamburo (military), фр. tambour (military), нем. Trommel, англ. sidedrum) в симфоническом оркестре обычно называют «военным», поскольку он наиболее часто выступает в эпизодах воинственного и энергичного характера. Его дробь хорошо подчеркивает ритм музыки, иногда оживляет ее, а иногда вносит ощущение тревоги. Изредка малый барабан может

стать даже солистом симфонического оркестра. В «Болеро» Равеля он не умолкает на протяжении всего произведения, четко отбивая ритм испанского танца.

Звук «меньшего брата» гораздо легче, острее и отчетливее, чем у большого барабана. Особый колорит его тембру придают натянутые над нижней поверхностью кожи струны или металлические спиральки. Барабан, снабженный спиральками, облегчает исполнение мелкой дроби в *pianissimo*. Поскольку некоторые конструкторы считают, что звук спиралей на большом расстоянии не слышен, иногда их соединяют с жильными струнами. Присутствие дополнительных звучащих элементов сообщает барабану характерную трескучесть, передаваемую также и нижней мембране.

В случаях, когда требуется приглушенное звучание, применяется так называемая «сурдина». В качестве таковой служит маленький рычажок, освобождающий струны.

В арсенале истинного барабанщика имеется шесть типов палочек для малого барабана. Для *pianissimo* применяются самые тонкие и легкие палочки с крохотными утолщениями на концах в виде маленьких продолговатых орешков. При мощном *fortissimo* применяются очень большие и, соответственно, утолщенные палочки.

Малый барабан в составе ударной группы симфонического оркестра установки отдельного микрофона не требует.

Тамтам

Тамтам (итал., франц., нем., англ. Tam-tam) представляет собой большой диск с загнутыми краями, по центру которого ударяют колотушкой.

Профессионально изготовленный инструмент дает низкий, гулкий и раскатистый звук. Диапазон громкости огромен – от едва слышимого *pianissimo* до оглушительного *fortissimo*. Мрачное, таинственное, поражающее слушателя драматическое звучание зачастую используется для создания эффекта внезапной катастрофы. После удара там-там долго вибрирует, создавая многократные волны *crescendo* и *diminuendo*.

При использовании палочек от малого барабана или ударного стержня от треугольника на тамтаме возможно исполнять тремоло, а также своего рода глиссандо.

При записи большого коллектива для них трудно выделить отдельную зону стереопанорамы, поэтому тамтамы, как и многие другие ударные, озвучиваются одним общим или стереопарой микрофонов. Если ограниченный состав инструментов позволяет выделить гонги, возможно применение индивидуального приемника звука, установленного в непосредственной близости от излучающей поверхности. При этом приближение микрофона к центру дает более низкий звук, удаление к краям – более высокий и тихий.

Треугольник

Треугольник (ит. triahgalo, фр. triangle, нем. Triangel, англ. triagl) – один из самых миниатюрных инструментов симфонического оркестра. Он представляет собой свободно подвешенный на ремешке или, что, несомненно, лучше – на струне, металлический прут диаметром около 10 миллиметров, изогнутый в форме равностороннего треугольника, незамкнутого в одном из углов. Известен в виде трапеции с XV в. С XVIII века используется в оркестрах.

Существует три вида этого инструмента, различающихся размерами – длина ребра может составлять шесть, восемь и десять дюймов по основанию.

Тембр треугольника сильно зависит от толщины металлической палочки, выбираемой исполнителем. Применяются палочки трех видов: тонкие, средние и толстые. Для получения мягкого и несколько приглушенного звучания может использоваться палочка для малого барабана.

Звук, обладающий мелодическим отзвуком, глушится рукой или пальцами.

Треугольник относится к тонально неопределенным инструментам со спектром частот от 800 Гц до 16 кГц. Звучность треугольника звонкая и нежная, а при сильном ударе пронзительная, напоминающая колокольчики, и, несмотря на небольшую силу, «прорывающаяся» сквозь общее звучание оркестра.

Из-за сложной системы излучаемых волн на характер звучания треугольника огромное влияние оказывает тип и место установки микрофона.

Кастаньеты

Кастаньеты (итал. *castagnetti*, исп. *castanetas*, франц. *castagnettes*, нем. *Kastagnetten*, англ. *castanets*) (от латинского *cfstana* – каштан) – деревянный инструмент испанского происхождения с суховатым, прищелкивающим звуком неопределенной высоты. Под задорное щелканье кастаньет испанцы пляшут болеро, сегедилью, хоту. Инструмент состоит из двух пар деревянных (ныне и пластмассовых) чашеобразных пластин, соединенных попарно шнурками. Правой рукой на больших пластинах исполняют ритмический рисунок, левой – его опорные точки. Существует специальный вариант кастаньет для симфонического оркестра. На приспособленной модели играют одной рукой; подвижные пластины попарно закрепляются на обеих сторонах особой рукоятки, при легком встряхивании которой извлекается звук.

В подавляющем большинстве случаев кастаньеты употребляются в танцевальной музыке либо там, где присутствует испанский национальный колорит. Дробь этого красочного инструмента делает ритм танца ярче, динамичнее, острее.

Как правило, кастаньеты озвучиваются общим микрофоном ударной группы.

Колокольчики

Колокольчики (или иначе металлофон) (ит. *campanelli*, фр. *carillon*, нем. *Glockenspiel*, англ. *glockenspiel*) состоят из 25...32 хроматически настроенных металлических пластинок разного размера, расположенных в два ряда в виде фортепианной клавиатуры. Верхний ряд соответствует черным клавишам, нижний – белым. Иногда колокольчики имеют клавиатуру, посредством которой извлекается звук. На обычных колокольчиках играют маленькими молоточками. Наибольшую популярность получили металлические молоточки, на одном конце которых имеется резиновая подушечка. Такое приспособление да-

ет при ударе красивый, ясный и светлый звук, лишенный всяких посторонних призвуков. Обратная сторона такого молоточка, оставленная чисто металлической, порождает резкое, пронзительное звучание, терпимое только в *forte* или больших оркестровых *tutti*, где для большей остроты и силы звука пользуются иной раз утяжеленными молоточками со значительным присутствием меди на конце. Реже применяются деревянные молоточки. При наличии возможности озвучивается отдельным микрофоном, устанавливаемым на среднем расстоянии от инструмента.

Колокола

Роль колоколов (ит. *campane*, фр. *cloches*, нем., англ. *Glocken*) в оркестре выполняют 12...25 свободно подвешенных металлических брусьев или трубок, имеющих диаметр от 25 до 38 миллиметров. В Италии этой разновидности колоколов приписывается японское происхождение, а в России, наоборот, итальянское или римское. Материалом для колоколов обычно служит никелированная латунь либо хромированная сталь. С безупречной точностью хроматически настроенные отрезки звучащих элементов подвешиваются в стойке, имеющей высоту 2 метра. Звук извлекается довольно увесистыми молотками с резиновой прокладкой на ударной плоскости. Современные колокола снабжены демпфирующим устройством, приводимым в действие от педалей или ручного рычага.

Диапазон оркестровых колоколов – 1...1,5 октавы.

Учитывая плотность звучания оркестровых *tutti*, нет ни необходимости, ни возможности воспринимать и передавать особенности тембральной окраски колоколов. Другими словами, устанавливать специальные микрофоны для них не требуется, достаточно общего приемника звука для всей ударной группы.

Ксилофон

Первые упоминания о ксилофоне (ит. *xilofono*, фр., англ. *xylophone*, нем. *Xylophon*) относятся к 1511 г. Большую известность получил первый случай

применения ксилофона в симфоническом оркестре. В 1874 г. французский композитор Сен-Санс написал произведение, названное им «Пляска смерти».

Ксилофон состоит из сорока одного деревянного брусочка, уложенных на специальную подстилку, предназначенную для сохранения вибрации. Характерно, что ширина деревянного бруска не имеет значения, так как высота звука убывает, в основном, пропорционально квадрату увеличения его длины. Это значит, что с понижением высоты звука на октаву длина деревянного брусочка увеличивается в четыре раза, а с повышением звука она соответственно уменьшается или заменяется возрастающей толщиной брусочка. Кроме того, известное влияние на высоту звука оказывает плотность и упругость применяемой породы дерева, вследствие чего для ксилофона используется клен, орех, пихта и заморские: палисандр, аморанд, фернамбук, розовое гондурасское дерево. Звук из ксилофона извлекается с помощью двух деревянных палочек – «козых ножек», свободно отскакивающих от брусков, что позволяет исполнять тремоло, которое при желании может перейти в непрерывно льющийся звук.

Тембр обычного ксилофона отличается сухостью и резкостью, особенно в верхнем регистре. Специальные резонаторы, размещаемые под брусками, позволяют придать звуку некоторую теплоту. Интересно, что в Африке в качестве резонаторов для народных ксилофонов используются «калебасы» – оболочки высушенных тыкв.

С точки зрения акустики, описать колебания брусочков ксилофона крайне сложно. Если в значительной степени упростить поставленную задачу, то можно считать, что в ксилофоне используются изгибные колебания твердых брусков. Технически ксилофон очень подвижен и может исполнить любые пассажи, однако из-за специфического звука, легко «прорезающего» даже самую плотную ткань оркестра, роль этого инструмента в значительной степени ограничена.

Установки дополнительного микрофона не требуется.

Маримба

Маримбафон (итал. *marimba*, франц., нем., англ. *Marimba*, *Xylorimba*) – ударный инструмент типа ксилофона, имеющий африканское происхождение. Бруски у него несколько большего размера, чем у ксилофона. Каждый деревянный брусочек, выточенный из розового гондурасского дерева, снабжен соответствующим цилиндром-резонатором, и все они, собранные вместе, расположены в два ряда и так же, как у вибратона, установлены на четырехколесном стенде. Их расположение не отличается разнообразием, характерным для ксилофонных инструментов – оно всегда аналогично фортепианной клавиатуре. Партии для маримбы пишутся исходя из возможности игры двумя или тремя палочками, и должны учитывать необходимость чрезмерного размаха рук исполнителя. Благодаря резонаторам (у современных моделей – позолоченным) тембр маримбафона отличается сочностью и относительной густотой.

Установки отдельного микрофона не требует.

Вибратон

Главные отличия вибратона (итал. *vibrafono*, франц. *vibraphone*, *carillonalames*, нем. *Vibraphon*, англ. *vibraphone*, от латинского *vibro* – колеблюсь) от маримбы – замена деревянных брусков на металлические пластины и наличие «бабочек-пропеллеров» внутри резонаторных трубок, приводимых в движение электромотором. Благодаря этим новшествам звучание вибратона приобретает длинный вибрирующий характер. При необходимости слишком длинное затухание можно мгновенно прекратить с помощью специального глушителя. Играют на вибратоне двумя, тремя и даже четырьмя палочками с мягкими круглыми наконечниками. В отличие от колокольчиков, ксилофона и маримбы, озвучиваемых общим микрофоном ударной группы, вибратон требует отдельного приемника звука, устанавливаемого ниже клавиатуры. При такой установке клавиатура защитит микрофон от озвучивания атакующей фазы ударов.

Большая ударная установка

Большая ударная установка состоит из:

Bass Drum – басовый барабан («бочка») – самый большой и низкочастотный; звук извлекается ножной педалью с колотушкой. Среди музыкантов популярен анекдот о провинциальной дискотеке, когда ударник для игры на большом барабане использовал палочки. Если на большом барабане требуется исполнять дробь, большую ударную установку можно сделать очень большой, установив два и более бас-барабана, или же оставить один, но со сдвоенной педалью. Однако типичный ритмический рисунок содержит единственный акцент основного инструмента – на первой доле.

Если вы хотите, чтобы звук вашего бас-барабана был глубокий и глухой, тогда вы можете попробовать поместить внутрь него подушку или одеяло.

Если вы хотите получить очень жесткий звук, используйте деревянную колотушку; если вам необходим звук более мягкий, используйте колотушку, обтянутую фетром.

SnareDrum – малый барабан; состоит из плоского цилиндра, обтянутого с двух сторон пластиком. Поверх нижней мембраны натягиваются несколько струн, придающих звучанию дребезжащий оттенок. Этот инструмент имеет характерный звонкий звук, в значительной мере зависящий от умения ударника настраивать инструмент. Малый барабан обычно располагается прямо перед исполнителем и «используется» в полной мере, оправдывая свое название – «рабочий».

Кроме ударов по пластику зачастую применяется специфический удар *Rimshot* – палочкой по ободу малого барабана.

Toms–томы – барабаны (от одного до нескольких); расставляются справа и слева от исполнителя и применяются в основном на сбивках. Томы являются тонально определенными инструментами, поэтому требуют точной настройки не только тембра, но и высоты звука. Самый низкий по тону барабан устанавливают справа от ударника и называют *бас-томом*.

Hat – хэт – высокочастотный инструмент с яркой атакой звука; служит для отсчета долей ритма и представляет собой пару обращенных друг к другу тарелок, которые можно открывать и закрывать с помощью ножной педали. Приемы игры на хэте разнообразны, тут и *HatClosed* – удар палочкой по закрытому хэту, и *HatOpened* – удар палочкой по открытому хэту, и *HatPedal* – звук закрывающегося хэта.

CrashCymbals – краш-тарелки; тонально неопределенные высокочастотные инструменты, служат для усиления акцентирования определенной доли (обычно вначале нового такта после сбивки). Количество *CrashCymbals* определяется творческой задачей, а их расположение зависит от манеры игры ударника.

RideCymbal – единственная в своем роде высокочастотная тарелка со сложным специфическим звуком, тембр которого зависит от места удара палочкой:

- *RideCup* – удар по *RideCymbal* близко к центру, имеет сухой четкий характер звука; используется для отсчета долей;
- *RideMiddle* – удар по середине между краем и центром;
- *RideEdge* – удар по краю; по мере приближения к краю звук становится мягче, прозрачнее и приобретает «рассыпчатый» характер.

SplashCymbal – тарелочка небольших размеров, имеет высокий и резкий тон.

Cowbell – некий ударный инструмент, традиционно располагаемый рядом с малым барабаном. *Cowbell* – по названию и форме напоминает альпийский колокольчик для парнокопытных животных. В отличие от оригинала одноименный инструмент имеет более массивный корпус, устойчивый к мощным ударам палочками, что обуславливает менее мелодичный и протяжный звук, нежели у альпийского оригинала инструмента.

Кроме ударов по инструментам в арсенале каждого барабанщика имеются:

Stick – удар барабанной палочки о палочку.

HandClap – хлопок в ладоши.

Какие элементы формируют характерное звучание барабана? Самое большое влияние на звук оказывает корпус. Чем больше диаметр корпуса, тем более низким будет создаваемый инструментом звук. Большое влияние на характер тембра оказывает и глубина инструмента – чем она больше, тем более глубоким будет звук. Так, малые барабаны от 6¹/₂" до 8" подходят для рокового стиля, джазовые барабанщики обычно предпочитают малые барабаны меньшей глубины от 3¹/₂" до 5".

Клавишные инструменты

Челеста (итал., франц. *celeste* – небесная, прозрачная, голубая, нем. *Celesta*) классифицируется как клавишный определенно-высотный идиофон. Внешне она напоминает маленькое пианино, струны которого заменены набором небольших стальных пластинок или трубочек, укрепленных на резонаторах и настроенных по хроматическому звукоряду. Диапазон основных тонов челесты различен, в некоторых моделях достигает пяти октав. Челеста обладает особенным, словно пришедшим из сказки тембром, который можно охарактеризовать как высокий, нежный и звенящий.

Челеста очень тихий инструмент. Ее динамический диапазон также небольшой – всего 20 дБ. Полоса частот основных тонов – от 260 до 4200 Гц. Поскольку у челесты звук извлекается ударом молоточка, обтянутого войлоком, для нее характерно разделение огибающей звука на две составляющие: яркую, резкую атаку и чистое, волшебное-нежное, тающее послезвучие.

В концертах классической музыки для достижения требуемого баланса челесту стараются устанавливать перед оркестром. Звук идет в основном из тыловой поверхности корпуса, поэтому микрофон нужно ставить за ним.

Клавесин

Название инструмента происходит от французского слова *clavecin* (итал. *clavicembalo*, нем. *Sembalo*, англ. *harpsichord*). Несмотря на внешнее сходство с фортепиано, клавесин является его предшественником и по принципу звукооб-

разования относится к группе струнно-щипковых инструментов. Звук в нем привлекается щипком перышка по струне.

Щипковая механика основана на следующем принципе. На задний конец клавиши свободно опирается деревянная планка – «прыгун», вблизи верхнего конца которой укреплен плектор – кусочек кожи или вороньего пера. При нажатии на клавишу планка подпрыгивает вверх, и перо щиплет струну. В исходное положение «прыгун» возвращается после полного отпускания клавиши под действием силы тяжести, после чего на звучащую струну опускается глушитель.

По современным меркам сила звука у клавесина достаточно низкая, приблизительно на 15...20 дБ ниже, чем у фортепиано. Большое количество обертонов клавесина лежит в области наибольшей чувствительности слуха, так что клавесин хорошо слышен и легко различим в оркестре. Более того, звучание клавесина настолько богато гармониками, что они перекрывают всю область спектральной чувствительности человеческого слуха. Поэтому звук клавесина, соответствующий нормальным показаниям индикатора уровня, оказывается более громким по сравнению со звуками других инструментов, имеющими тот же уровень.

Классический способ получения естественного звукового баланса клавесина с низким уровнем шумов заключается в установке двух микрофонов: один над декой, второй под ней. Главным приемником звука является нижний микрофон. Его следует сориентировать так, чтобы максимально исключить шум, идущий от педалей, и отражения от пола. Второй приемник звуковых колебаний устанавливается чуть ближе к деке, чем это принято при записи рояля, и обеспечивает передачу атаки и верхних гармоник.

Фортепиано

Фортепиано (ит. piano-forte, фр., англ. piano; нем. Fortepiano, Hammerklavier) относится к группе струнно-ударных инструментов. Его название происходит от обозначения главной отличительной особенности звучания –

широкого динамического диапазона от *forte* – громко до *piano* – тихо. Динамический диапазон фортепиано при аккордовой фактуре приближается к значению 42 дБ. В пределах одной ноты он несколько уже – 35 дБ. Это типичные значения для большинства профессиональных пианистов.

Создателям фортепиано удалось объединить в одном инструменте преимущества многотоновых клавишных (клавесина или клавира) с красотой и динамизмом ударного звука цимбал. Если цимбалист может исполнять одновременно две ноты – двумя руками, то на фортепиано стало возможным извлекать до 10 тонов – по числу пальцев на руках.

Современные концертные фортепиано оснащаются тремя педальными механизмами. С помощью правой педали можно продлить звучание струн, когда клавиши отпущены. Кроме удлинения пассажей, опытным пианистам подвластен прием «приглушения» колебаний звучащих струн – при легком нажатии педали механизм глушения отводится от плоскости струн на минимальное расстояние, ограничивая максимальный диапазон их колебаний.

Левая педаль фортепиано приводит в действие систему сдвига всей линейки молоточков с тем, чтобы их бойки захватывали на одну струну меньше. Звук при этом должен становиться тише и мягче.

Конструкция некоторых моделей фортепиано предусматривает наличие третьей педали, функции которой могут быть различны. В ряде случаев она включает режим репетиции – между молоточками и струнами прокладывается тонкая фетровая лента, заглушающая звучание инструмента. Иные конструкторы идут по пути дальнейшего развития инструмента. В их моделях третья педаль приводит в действие механизм освобождения струн от глушителей. В отличие от принципа работы правой педали продолжают звучать не все струны, а только те, которые начали колебательное движение в момент нажатия левой педали.

Исследование особенностей резонанса чугунной деки также принесло свои плоды. Оказалось, что если струны расположены не строго параллельно, а так, чтобы они расходились веером от линии колков, ближней к молоточкам, то

звук получается лучше. Немаловажное знамение имеет размер фортепиано. Чем больше габариты инструмента, тем более качественный звук можно от него ожидать. Для того чтобы увеличить длину струн без изменения габаритов чугунной рамы, общая линейка струн была разделена на две части, разнесенные в разных плоскостях. Это дало возможность расположить басовые струны слева направо, а более тонкие – им поперек – справа налево.

Особенности акустики рояля

Особенность звукоизвлечения рояля состоит в четком разграничении звука на две части – атаку в момент удара молоточков по струнам и собственные колебания струн, усиленные и облагороженные чугунной рамой и деревянной декой.

Удар молоточков приводит к возникновению колебаний струн, основные тона которых можно подстраивать, вращая металлические колки, крепко запрессованные в деревянных гнездах.

Кроме основных тонов, в колебаниях струн появляются и их гармоники. Теоретически, если молоточки считать абсолютно твердыми, а струны бесконечно гибкими, то число обертонов может быть бесконечным, а амплитуды гармоник будут кратны основному тону. На практике, условленные параметры имеют конечное, фиксированное значение. Тем не менее, большая часть энергии возбужденной струны содержится в гармониках.

В отличие от скрипок или виолончелей, в звучании которых ценится их индивидуальность, для роялей характерна унификация тембра. Частотный спектр послезвучания добротного инструмента (без учета атаки звука) должен простираться от 28 до 6000 Гц при верхнем основном тоне, равном 4000 Гц. В нижних регистрах основной тон выражен слабо из-за неизбежного присутствия в колебаниях длинных струн большого числа негармонических обертонов. С другой стороны, басы обладают густым, сочным тембром.

Не последнюю роль в усилении звука играет дека, размещаемая горизонтально под струнами инструмента. Большие размеры деки обеспечивают ши-

рокий диапазон формант, поэтому тембр резонансных колебаний деки очень однороден для любой возбуждаемой ноты. Максимумы главных формант приходятся на частоты порядка 400...500 Гц, а на низших частотах тоны особенно богаты гармониками, причем амплитуда основной частоты меньше, чем некоторых обертонов.

Дека представляет собой деревянный щит склеенных между собой досок из резонансной (норвежской) ели или сосны. Струны, натянутые между противоположными краями чугунной рамы, на некотором расстоянии от колков, опираются на порожки, закрепленные на деке. Колебания струн передаются деревянной пластине, выступающей в роли акустического усилителя. Степень влияния деки на качество звука трудно переоценить – у хорошего мастера после установки в инструмент деревянного усилителя от первоначального тембра струны мало что остается.

Стерефонический образ рояля

Со сцены фортепиано звучит как точечный источник звука. Аутентичное изображение этого инструмента в стереофонограмме можно оправдать лишь в тех редких случаях, когда фортепиано выполняет второстепенную, обычно ритмическую, роль. Во всех остальных случаях стерефоническая запись, изображающая фортепиано в достаточно широкой зоне, позволяет значительно лучше передать богатство звучания «королевского» инструмента, причем в совершенно иных, новых красках. С точки зрения ширины панорамы лучше всего остановить свой выбор на паре разнесенных на небольшое расстояние и развернутых на некоторый угол конденсаторных микрофонах с кардиоидными ДН.

Духовые инструменты

Основы звукоизвлечения духовых инструментов

Еще в глубокой древности люди знали, что, если подуть в раковину, она издает музыкальный звук – звук определенной высоты. Наверное, первыми это свойство морских раковин обнаружили рыбаки. Но и у охотников тоже нашел-

ся похожий музыкальный инструмент – рог животного. В зависимости от величины каждый рог издавал один определенный звук. Рога можно подобрать так, чтобы получились все звуки, нужные для исполнения музыки. Впоследствии «рога» стали изготавливать в виде специальных конструкций из металла, дерева и современных пластмасс.

Что именно звучит, то есть колеблется в трубе, ведь никаких струн нет? У духовых инструментов звучащим телом является воздушный столб, имеющий небольшой диаметр и значительную длину, который приводится в колебательное движение при помощи того или иного возбудителя. Возбудитель колеблется под воздействием струи воздуха, подаваемой извне с регулируемым в нужных пропорциях давлением и модуляцией. В результате в трубке образуются поочередные сжатия и разрежения воздуха, порождающие звуковые волны. Таким образом, трубку духового инструмента можно рассматривать как резонансный акустический усилитель, перестраиваемый на необходимые в текущий момент частоты.

Сравнительная характеристика высоты основного тона

Если приравнять высоту столба к длине струны, то модели их колебаний можно будет рассматривать как сходные. Высоту звучания струны можно изменять, регулируя ее натяжение и длину звучащего участка. В воздушном столбе происходит нечто похожее – частота его колебаний зависит от диаметра и высоты ограничивающей поверхности. При этом воздушный столб, как и струна, колеблется как целиком, так и частями, порождая обертоновые частоты.

Кроме общих характеристик, рассмотренные модели колебаний имеют и существенные отличия. Звуковые колебания струны распространяются в направлении, поперечном ее оси. У воздушного столба, наоборот, они направлены вдоль оси движения струи. Воздушный столб обладает значительно большей звуковой мощностью. В отличие от принципиально прямолинейной струны, столб воздуха может иметь произвольную форму: прямого отрезка, острого угла, многочисленных колец и так далее. Еще одна отличительная особенность звукоизвлечения духовых инструментов заключается в полном отсут-

ствии инерции звука. Колебания исчезают мгновенно, как только прекращается возбуждающая их сила. И, конечно же, главное отличие описанных моделей заключается в способах возбуждения (зарождения) колебаний.

Возбуждение колебаний в духовых инструментах

При игре на духовом инструменте особую сложность доставляет процесс возбуждения (или зарождения) колебаний. Поскольку напрямую генерировать мощный поток воздуха с определенной частотой человек просто не в состоянии, используется механизм обогащения воздушного потока богатым спектром гармоник. Впоследствии мощность одной из этих частот будет увеличена акустическим резонансным усилителем, роль которого выполнит корпус инструмента.

В природе существует несколько явлений, позволяющих преобразовать однородный воздушный поток в струю воздуха, колеблющуюся с широким спектром частот.

Во-первых, под определенным углом к воздушному потоку можно установить препятствие, отщепляющее часть струи от основной массы движущегося воздуха. Этот принцип возбуждения колебаний в духовых инструментах можно считать самым древним, но он крайне неудобен – исполнителю трудно выдерживать необходимый угол подачи воздушного потока. Способ, когда воздушная струя разбивается о препятствие, получил название «свистковый».

Более совершенный (по возможностям передачи многочисленных нюансов) является другой механизм звукоизвлечения, называемый «язычковым». Так, в мундштуке кларнета и саксофона имеется тонкий язычок, который изготавливается из упругого тростника. При вдувании воздуха в мундштук язычок колеблется, величина щели между ним и корпусом непрерывно изменяется, и воздушный столб в трубке начинает вибрировать. Строгой частоты колебаний трость не имеет, но при умелом управлении мундштуком губами и языком музыкант может извлекать из трости набор частот, попадающий в нужную спектральную полосу.

У гобоя и фагота мундштук оснащен двумя изогнутыми тростями, между которыми имеется зазор. Обращаться с двойной системой не менее сложно, чем с одиночной.

После определенной тренировки исполнитель может имитировать двойную трость и без ее фактического наличия в мундштуке. Для этого ему достаточно использовать вибрацию определенным образом сложенных губ. Такой способ звукоизвлечения получил название *амбушюрный*. Амбушюр – *embouchure* (от французского *bouche*) – состояние мышц лица, в первую очередь губ и языка, принимающих участие в звукообразовании при игре на духовых музыкальных инструментах. При этом губы исполнителя не просто участвуют в звукообразовании, но сами являются непосредственным возбудителем колебаний.

Для облегчения амбушюрного звукообразования требуются специальные мундштуки в виде чашечек или воронок. Форма трубки мундштука неодинакова у разных инструментов и оказывает существенное влияние на характер звучания. Глубокая чашечка и более пологий переход к устью способствуют образованию низких обертонов. Звук при этом становится полнее и мягче, что особенно заметно у баритона. Мелкая чашечка и крутой, резкий переход к устью вызывают большее число высоких обертонов, благодаря чему звук приобретает более светлый и яркий характер. Наглядным примером такому тембру служит труба.

Условное деление на деревянные и медные

Свистящие и язычковые духовые инструменты из числа входящих в симфонический оркестр называются деревянными. Несмотря на традиционное классовое название, в группу деревянных входят и металлические флейты с саксофонами. В старину свистковые и язычковые инструменты делали из дерева, поэтому их современное название «деревянные» скорее родовое, нежели типовое. Более того, выбор материала для «деревянных» духовых крайне значительно влияет на реальную акустику инструмента.

В противовес деревянным, амбушюрные духовые получили название «медных» инструментов. Но и это обозначение не менее условно. Из-за особенностей звукоизвлечения материал и толщина стенок корпуса «медного» инструмента приобретают немаловажное значение. Лучше звучат инструменты, изготовленные не из классической латуни, а из других сплавов, например, серебра с иными благородными металлами.

В отличие от «деревянных», у инструментов медной группы боковых отверстий нет, и колебания всех тонов доходят до раструба инструмента. Поэтому его форма имеет огромное значение в процессе формирования характерного тембра. Дело в том, что граница воздушного столба всегда находится не в конце, а где-то в середине раструба. В итоге, в зависимости от длины волны, разные по частоте обертоны при выходе из резонаторной системы получают различное усиление. Форма корпуса медных инструментов также оказывает немаловажное влияние на тембр звука.

В группу медных инструментов симфонического оркестра входят: корнет, альт, тенор, баритон, басы (геликон и тубы), валторна, труба, тромбон и сигнальные духовые инструменты.

Деревянные духовые инструменты

К этой группе относятся флейты, гобои, кларнеты и фаготы, а также английский рожок и саксофон.

Флейта. Раньше флейта была продольной, и держали ее в вертикальном положении. Затем появилась так называемая поперечная флейта, которую музыкант держит горизонтально. Этот вид флейты, усовершенствованный в 1840 г. немецким мастером Теобальдом Бемом, постепенно вытеснил продольную и сейчас во все оркестры входит именно поперечная флейта. Флейта системы Бема имеет цилиндрическую трубку, деревянную или металлическую, закрытую с одной стороны, широкие голосовые отверстия, снабженные клапанами, и сложный по конструкции клапанный механизм. Звук извлекается с помощью вдувания струи воздуха по касательной к дульцу. Игра на флейте требует большого

расхода воздуха; при вдувании часть его разбивается об острый край отверстия и уходит. От этого и получается сипящий призывок, особенно характерный для низкого регистра. По той же причине на флейте трудноисполнимы выдержанные ноты и широкие мелодии. Однако по своим техническим возможностям флейта превосходит все остальные духовые инструменты. Семейство современных флейт состоит из большой, малой и альтовой флейт. Изредка встречаются шаровидные флейты, такие как окарина или китайская свистковая.

Большая флейта

Все оркестровые флейты имеют одинаковый механизм и сходные пропорции, но разные размеры и высоту звучания.

Формантная частота большой флейты (или просто флейты) лежит в области от 1400 до 1700 Гц. В нижней половине диапазона ее звучание мягкое, глуховатое, слегка вибрирующее с матовым, густым и холодным тембром. Средний и часть верхнего регистра очень красивы и обладают нежной, певучей звучностью. С повышением тона все четче проявляется яркий, свистящий, доходящий до пронзительного, характер инструмента. Римский-Корсаков охарактеризовал звучность флейты так: «Тембр холодный, наиболее подходящий к мелодиям грациозного и легкомысленного характера в мажоре, и с оттенком поверхностной грусти в миноре». Технически она чрезвычайно подвижна и с успехом играет быстрые пассажи, «щебечущие» и «порхающие».

Время атаки у флейты несколько больше, чем у других инструментов «деревянной» группы, и составляет 50 мс. Динамический диапазон современного инструмента достаточно большой: в среднем регистре – 35 дБ (от 50 до 85 дБ). В высоком и низком регистрах он сокращается до 20 дБ.

Малая флейта

Малая флейта (ит. *Flautopiccolo*, что означает «маленькая флейта», франц. *petiteflute*, нем. *Kleineflote*, англ. *piccolo*) в два раза меньше и звучит на октаву выше обычной флейты. Характер ее звучания в целом такой же свистящий, как и у старшей сестры, но он отличается меньшей полнотой и выразительностью. Баланс тональных диапазонов также несколько хуже – в нижней

половине звучание слабее, прозрачнее и приглушеннее, а в верхней части, наоборот, звук малой флейты сильнее, ярче, резче и пронзительней, чем у большой. Ее резкий свист пререзает звучность всего оркестра. В оркестре малую флейту используют для продления диапазона большой флейты вверх. Применяется она чаще всего для создания особо хрупкого колорита. С не меньшим успехом малая флейта способна изобразить сражение, грозу, свист ветра. Современные композиторы могут поручать ей и мелодические партии.

С точки зрения звукорежиссера частотный диапазон основных тонов малой флейты составляет 590...4200 Гц, обертоны простираются до 10 кГц и выше. Теплоту звучания можно корректировать, экспериментируя в широком диапазоне частот – от 50 до 700 Гц. Дыхание исполнителя можно ослабить за счет уменьшения полосы с центром около 3200 Гц, шипение воздуха особенно заметно в районе 6...8 кГц.

Альтовая флейта

Альтовая флейта (ит. flautocontralto, фр. Flute alto, нем. Altflöte, англ. Altoflute) по общему звучанию в середине иверху диапазона мало чем отличается от «средней» сестры. Старшая родственница оправдывает свое существование за счет нижнего регистра, недоступного обычной флейте. Относительный баланс тембра в пределах всего диапазона у нее более ровный – для всех нот характерно полное и широкое звучание.

Любопытно, что в истории зафиксированы случаи создания не только бассовых, но и контрабассовых флейт длиной до двух метров.

Особенности записи флейты

В зависимости от точки установки микрофона, звучание флейты может стать резким, с присутствием шума выдыхаемого воздуха даже в среднем регистре. Поэтому микрофон (или стереопару для солирующего инструмента) желательно располагать выше головы флейтиста, немного сзади его. Слишком большую дистанцию до инструмента выбирать не стоит – уровень звучания тихих регистров может оказаться недостаточным.

Гобой

В Индии еще в XII–VII вв. до н. э. существовал духовой инструмент с названием «оту». Его среднеазиатская «родственница» зурна, которую считают непосредственной предшественницей гобоя, и сейчас широко распространена в Средней Азии и на Кавказе.

Собственно гобой (ит. англ. oboe, фр. hautbois, нем. Нобое) был сконструирован в XVII в. во Франции и вскоре прочно вошел в состав симфонического оркестра. Название инструмента происходит от французских слов *haut* – высокий, *bois* – деревянный. В настоящее время широкое распространение получили два инструмента из широкого класса гобоев – сопрановый гобой в строе *До* и английский рожок в строе *Фа*.

Гобой представляет собой деревянную трубку конической формы с двойной тростью, имеющей габаритную длину 59...61 сантиметров и снабженную более чем двумя десятками игровыми отверстиями, закрываемыми с помощью системы клапанов. Трубка заканчивается небольшим раструбом в виде маленькой воронки или цветка лилии.

Гобой обладает ярким, несколько острым звучанием. Тем не менее, его тембр несколько более теплый и густой, чем у флейты. Основная форманта инструмента располагается в области 1,6...2 кГц. Гобой легко узнать по терпкому, с заметным носовым призвуком, оттенку, в чем виновата форманта в области 1,1 кГц. Нижний регистр (начинается *си* – *си-бемоль* малой октавы) обладает густой, полной и несколько суровой звучностью с динамическим диапазоном порядка 30 дБ. Средний регистр несколько слабее по силе звука, но для него характерны более нежные и сочные оттенки. По мере роста высоты тона плотность звука в верхнем диапазоне продолжает уменьшаться и усиливается его резкость. С началом высшего регистра звуки становятся чрезмерно напряженные, резкие и крикливые. За излишнюю звонкость отвечает форманта в районе 3,2 кГц.

В значительной мере оттенки тембральных красок зависят от искусства исполнителя владеть губами, а, следовательно, и камышовыми пластинками. Не

меньшую роль играет и степень усталости гобоиста. Расход воздуха при игре на гобое – самый маленький среди духовых инструментов, поскольку гобойная трость довольно узка (по сравнению, скажем, с фаготовой), и весь выдыхаемый воздух направляется в трубку.

Для исполнения очень протяжных связных мелодических линий на гобое применяется специальный прием: *перманентное дыхание*. При перманентном дыхании гобоист одновременно вдует воздух, заранее запасенный в надутых щеках, в гобой, а носом вдыхает новую порцию воздуха. И так несколько раз, пока не закончится исполняемая им мелодия, которую нельзя прерывать.

Виртуозная музыка вполне доступна гобоем, но является для него менее свойственной. С другой стороны, этот инструмент способен к более проникновенной задушевной выразительности. Как замечают некоторые композиторы, какой характер не поручи гобоем, его звучание все равно приобретет простодушие и непосредственность. Установка микрофона напротив раструба позволяет усилить «народные» оттенки тембра. В классическом режиме микрофон на гобой устанавливается позади-сверху исполнителя, что несколько уменьшает озвучивание стука клапанов.

В симфоническом оркестре обычно применяют два гобоя; гобой настраивает весь оркестр (то есть дает тон ноты *ля*, которому все должны следовать, во избежание фальши), к тому же первый гобоист является концертмейстером всех духовых.

При настройке компрессора следует учитывать, что время атаки в звучании гобоя составляет в низком регистре 20 мс, в высоком оно уменьшается до 10 мс. С точки зрения частотного спектра основной вклад в формирование атаки вносит полоса с центром около 4,5 кГц.

Английский рожок

Почему охотничий гобой, широко распространенный в Западной Европе, получил название «английского»? Из-за... некорректного перевода. Изначально он изготавливался в форме угла. В переводе на французский «угол» – *angle*.

Английский рожок (англ. *cornoinglese*, *oboecontralto*, франц. *corangalais*, нем. *EnglischesHorn*, англ. *Englishhorn*), или как его иначе называют – «альтовый гобой» или «гобой контральто» – это увеличенный гобой, звучащий ниже обычного на квинту. По устройству и форме альтовый гобой сходен с обычным. Его ствол длиннее, чем у гобоя, и у верхнего конца соединен с маленькой чуть изогнутой металлической трубкой, на которую насаживается трость (язычок). Корпус заканчивается грушевидным раструбом, который, как полагают, и придает звучанию этого инструмента столь меланхолический матовый тембр. Палитра звучания английского рожка отличается большей мягкостью, густотой, тягучестью, более выраженным носовым призвуком и сбалансированным однородным звучанием в регистрах.

Из-за более слабой форманты в районе 3,2 кГц при равном расстоянии до инструментов английский рожок воспринимается звучащим с большего расстояния, нежели гобой (рожок располагается слева от гобоев, в один ряд с ними). Динамика у рожка меньше, чем у гобоя, что обуславливает лениво-спокойный характер «английского» варианта инструмента.

Другие разновидности гобоя – малый гобой (он же гобой-пикколо, он же гекельфон-пикколо), гобой д'амур («гобой любви»), гекельфон (басовый гобой) – были распространены в эпоху барокко, а сейчас используются очень редко.

Кларнет

Кларнет (ит. *clarinetto*, нем. *Klarinette*, фр. *clarinette*, англ. *clarinet*) – духовой музыкальный инструмент в виде трубки с клапанами и небольшим раструбом. По праву происхождения относится к группе деревянных духовых инструментов, потому что материалом для его корпуса служит специальная древесина – гренадильное или эбеновое (черное) дерево.

Кларнет был сконструирован в конце XVII в. И. Деннером на основе старинной французской свирели шалюмо. Деннер заменил трубочку с надрезным язычком камышовой пластинкой – тростью, прикрепленной к деревянному

мундштуку, и убрал камеру, в которой она находилась. Это позволило исполнителю, изменяя давление губ на трость, влиять на качество излучаемого звука. Кроме этого, он ввел клапан дуодецимы, облегчающий передувание, чем расширил диапазон нового инструмента. Звуки верхнего диапазона кларнета напоминали современникам тембр высокой трубы – кларино (*clarus* – светлый, ясный), что и дало название инструменту – уменьшительное итальянское *clarinetto*.

Главное конструктивное отличие кларнета – замена конического ствола на цилиндрический. Но, в отличие от флейты, тоже цилиндрического инструмента, звуковой канал которого имеет оба открытых конца, в воздушном столбе кларнета возникает только один узел и одна пучность. По длине в звучащей части канала уместается только половина звуковой волны, вторая половина образуется отражением от закрытого конца.

Этот факт обуславливает ряд специфических особенностей инструмента:

- кларнет звучит на октаву ниже, чем «открытая труба» такой же длины (та же флейта);
- так называемое «передувание» происходит не на октаву выше, как у прочих инструментов, а на дуодециму (дуодецима – интервал шириной в 12 ступеней звукоряда);
- аппликатура кларнета, по сравнению с другими деревянными, усложнена, так как потребовались дополнительные клапаны для заполнения «лишней» квинты;
- диапазон кларнета насчитывает почти четыре октавы (с этим инструментом из ряда духовых может поспорить только валторна);
- аппликатурные трудности, присущие кларнету конструктивно, не позволяют свободно играть во всех тональностях, приемы игры на кларнете достаточно сложны;
- в спектре звука у кларнета отсутствуют четные обертоны.

Звучание кларнета в разных регистрах сильно различается по тембру.

Нижняя часть среднего регистра, имеющая тусклое и бесцветное звучание, не позволяет извлекать громкие звуки и не находит широкого применения в партитурах. Лишь изредка этому диапазону поручается создание темной, таинственной окраски. В верхней половине среднего регистра звук приобретает яркую, светлую и блестящую звучность с богатым выбором динамических оттенков. Верхний регистр кларнета обладает очень ярким, острым и несколько пронзительным звучанием. В верхнем регистре исполнение нюанса пианиссимо крайне затруднено. В высшем регистре звучание развивается в сторону увеличения резкости (даже крикливости) с оттенком некоторой сдавленности. Из-за исключительной сложности звукоизвлечения высший регистр кларнета, как правило, не используется.

Нижний регистр характеризуется густым, мрачным и несколько угрюмым характером с широчайшим динамическим диапазоном от едва слышимого *pianissimo* до *fortissimo*. Спектр основных частот и обертонов кларнета простирается от 140 Гц до 9 кГц. Исследователи музыкальной акустики отмечают специфическую тембровую особенность кларнета – подчеркивание нечетных гармоник. Время атаки у кларнета от 15...20 до 50 миллисекунд.

Альтовый кларнет (бассетгорн)

Бассет превосходит «большого брата» по полноте, густоте и мягкости звучания. В нижнем регистре звук становится более мягким, а в среднем и верхнем у альтового кларнета исчезает звенящая окраска и проявляется, наоборот, матовая и тусклая звучность. К сожалению, бассет крайне редко употребляется в современных оркестровках – бассетгорны обычно заменяются кларнетами.

Бас-кларнет

Басовый кларнет (итал. clarinetto-basso, франц. clarinettebasse, нем. Bassklarinette, англ. bassclarinet) звучит на октаву ниже обычного. Его конструкция состоит из длинной деревянной трубки-корпуса с металлическим загнутым вверх раструбом и широкой изогнутой металлической трубкой на верхнем конце, куда вставляется мундштук с одинарной тростью.

Нижний регистр инструмента шикарен: мрачная, угрюмая и глубокая звучность с несколько звенящим оттенком и полным набором динамических нюансов. Средний регистр по мере восхождения к более высоким нотам теряет былую полноту и силу. В верхнем регистре звучание становится тусклым и напряженно-сдавленным. Из-за особенностей нижнего и нижней половины среднего регистров бас-кларнету могут поручить сольную партию в сурово-драматических, задумчиво-мрачных или тревожно-волнующих произведениях. Технические возможности по динамическому движению в басовом варианте кларнета более ограничены, нежели у обычного.

Для бас-кларнета, как и для любого низкочастотного источника звука, важную роль в звукообразовании играет акустика помещения. При недостатке в отзвуке студии низкочастотной составляющей звук инструмента становится плоским, трещащим, с недостатком басов.

Особенности записи кларнетов

Неравномерность мощности регистров и противоречивость их тембральных окрасок в значительной степени осложняют запись кларнетов. Из-за неприятно-крикливых регистров инструмент желательно удалять от микрофона; но при мягкой игре в низком регистре полный, сочный и нежный звук, наоборот, лучше воспринимается близкорасположенным микрофоном. Однако в ближней зоне могут проявиться иные дефекты – шум дыхания в фазах атак и стук клапанов.

Саксофон

В 1840 г. бельгийский мастер Адольф-Антуан-Жозэф Сакс (работавший в Париже), совершенствуя конструкцию бас-кларнета, обратил внимание на его своеобразный тембр, в котором было что-то от медных инструментов. После замены узкой цилиндрической трубы на широкую коническую и увеличения размеров боковых отверстий, особенно в той части, которая расположена ближе к раструбе, мастеру удалось придать новому инструменту абсолютно уникальный характер. Саксофон (итал. *sassofono*, нем. *Saxophon*, франц., англ. *saxophone*) (патент 1846 г.) научился хохотать, взвизгивать, всхлипывать, при-

шептать и даже подражать другим инструментам. Произошел редкий случай – новый инструмент получил безоговорочное признание у музыкантов. У него очень быстро появились «родственники» в других диапазонах: сопранино, сопрано, альт, тенор, баритон, бас, контрабас. Существует и даже весьма оригинально звучит субконтрабас.

«Постоянной прописки» в симфоническом оркестре саксофон так и не получил. Однако в военных и концертных духовых оркестрах трио или квартет саксофонов (альт, тенор и баритон) встречаются весьма часто. Самое широкое применение саксофон получил в джазе.

Техника игры на саксофоне чрезвычайно сложна и многообразна. Исполнитель может использовать такие приемы, как *glissando* с «ослабленным амбушюром», *slap-tongue* или «звуковой щелчок» с зажиманием трости инструмента средней частью языка, прием «смеха» за счет придыханием на слоге «*ha*» или «*fa*».

Саксофон – очень нежный инструмент. Малейшие деформации корпуса, выполненного из особого сплава, известного под именем «томпаковой меди», заметно влияют на его состояние. Играть на травмированном инструменте становится намного труднее – клапана пропускают воздух.

Саксофон обладает незаурядным, изысканно красивым звуком. По утверждению звукорежиссеров, обладающих опытом записи профессиональных саксофонистов, саксофон очень «фоногеничен». Для него характерен сочный тембр, богатый спектр излучаемых частот и низкий уровень шумов. К сожалению, не всякий инструмент хорош и не каждому исполнителю он подвластен.

Саксофон, хотя и изготавливается из металла, относится по конструкции к группе деревянных духовых. Как и все деревянные духовые инструменты, саксофон не имеет ярко выраженной направленности.

Легендарный духовой инструмент удостоился создания собственного микрофона, удобно располагаемого в раструбе. Однако место установки приемника звука выбрано не самым лучшим образом. В этой точке звук не очень красив, а подвешивать микрофон на гибкий штатив длиной до полуметра дале-

ко не так эффектно с эстетической точки зрения.

Звук идет не из раструба, а из отверстий на теле инструмента, прикрываемых клапанами, и только самые высокие обертоны достигают раструба. В зависимости от окружающей акустики микрофон (или стереопару) следует располагать на расстоянии до 1...1,5 метров от инструмента.

Для записи перед саксофонистом устанавливают два микрофона на расстоянии 1,5...2 метра до исполнителя и 1,5...2 метра между приемниками звука. Излишне широкую стереопанораму заужают средствами пульта, но не слишком сильно – иначе исчезнут высокие частоты; панорамируют в нужную точку и размывают базовой реверберацией фонограммы, задавая определенное расстояние до саксофона.

Фагот

Фагот (ит. *fagotto*, нем. *Fagott*, фр. *bassoon*, англ. *bassoon*) был сконструирован в начале XVI столетия каноником Афанью дельи Альбонези на основе старинного басового инструмента – бомбарды. Ствол фাগота как бы сложен пополам, отсюда и название инструмента *fagotto* – по-итальянски узел, связка.

Фагот имел еще одно название – *dolcian* – мягкий и нежный. Это бас, нижний голос группы, наподобие контрабаса среди струнных смычковых.

Фагот состоит из пяти частей: узкой металлической трубки, сходной по форме с латинской буквой S, малой трубки («крыло»), нижней части («сапог»), большого канала (басовый стержень) и раструба. Трость (язычок) у фাগота двойная и относительно широкая. Во время игры фাগот подвешивается на шнурке на шее исполнителя. Фаготисты сидят во втором ряду духовой группы рядом с кларнетами; обычно в оркестре используется два фাগота.

Исполнение на фাগоте требует большого расхода дыхания, а *forte* в низком регистре может вызвать крайнее утомление исполнителя.

Фагот имеет очень большой диапазон основных тонов – более 3-х октав. На самых низких нотах у фাগота проявляется густая и сильная звучность грозного характера (в чем «виновата» форманта в районе 500 Гц).

Чуть выше, с проявлением второй форманты около 1,5 кГц, возникают мягкие и приглушенные оттенки. В верхнем отрезке нижнего диапазона тембр обнаруживает нежное и жалобное звучание, сходное с человеческим голосом. По мере восхождения вверх, тембр фагота становится все более напряженным, сдавленным, с «носовым» оттенком тембра. При подходе к высшему регистру свойственная фаготу мягкость и нежность вовсе пропадают, звук становится очень напряженным и несколько резким. Фаготу подвластно острое и выразительное стаккато и даже двойное стаккато, требующее осторожного вмешательства звукорежиссера в тембральные, реверберационные и динамические характеристики звучания.

При записи фагота следует обратить особое внимание на его реверберационную обработку. Время атаки у этого низкочастотного инструмента и так слишком велико – в низком регистре 100 мс, в высоком 50 мс.

Микрофон на фагот ставится обычно перпендикулярно инструменту спереди или со спины музыканта.

Контрафагот

Контрафагот (итал. *contrafagotto*, франц. *contrebasson*, нем. *Kontrafagott*, англ. *contratagotto*, *double-basson*) является единственной разновидностью обычного фагота, звучит на октаву ниже его. Это самый низкий инструмент в обычном составе оркестра (не считая экзотических контрабасовых кларнетов и саксофонов или органа). Он может брать ноты на кварту ниже контрабаса и на секунду ниже арфы.

У современного контрафагота имеется и еще одна уникальная черта, свойственная всем низкочастотным излучателям – это инструмент, изогнутый в три раза: его длина в развернутом виде – 5 метров 93 сантиметра. Эта особенность чуть было не стала для инструмента роковой. Контрафагот долго не находил должного признания композиторов. Главная причина отсутствия интереса заключалась в трудности изготовления качественного инструмента. Крайне сложно было найти подходящий кусок дерева, в котором имелась воз-

возможность просверлить достаточно широкий в своем сечении канал. Большие проблемы выпадали также и на долю отверстий, досягаемость которых была при столь значительных размерах контрафагота весьма затрудненной. Страдал старинный контрафагот и от недостаточной чистоты строя, оставлявшей желать много большего, да и звук из него извлекался всегда с опозданием.

Только к концу XIX столетия в Германии появился вполне безупречный по качеству контрафагот, значительно усовершенствованный в начале XX в.

Особенности новой версии инструмента заключались в том, что трубка его в сравнении со старым контрафаготом стала значительно более узкой и, вследствие этого, существенно длиннее. Клапанный механизм нового контрафагота аналогичен таковому же у обыкновенного фагота, а раструб его, прямой деревянный или изогнутый металлический, позволяет по желанию пользоваться двумя различными объемами инструмента. Второй изогнутый металлический раструб, могущий, при желании, заменить первый, применяется только в тех случаях, когда возникает необходимость воспользоваться тремя самыми низкими ступенями. Деревянная часть современного контрафагота выполняется исключительно из древесины волнистого клена. Из-за громоздкости и большого веса этот инструмент опирается на небольшой стержень-упор.

Одним из недостатков контрафагота являются увеличенные размеры язычка, которые не дают ему достаточной свободы в технических построениях. В сравнении с фаготом, *legato* на контрафаготе легче, но при своей продолжительности оно становится довольно затруднительным, так как требует значительных усилий со стороны исполнителя. Особенно трудно *legato* «на низах» и в тех случаях, когда автор, предписывая большие скачки, забывает, что движение вниз доставляет исполнителю много больше хлопот, чем движение вверх. В несколько более благоприятных условиях оказывается *staccato*, хотя и оно не несет в себе свойственного простому фаготу задора и стремительности. Особенно сложно пользоваться контрафаготом в подвижных рисунках, требующих достаточной остроты и четкости.

Игра на контрафаготе требует большого расхода воздуха, но при нюансе *fortet* тратится настолько много воздуха, что иной раз исполнитель оказывается не в силах выполнить предписанное автором.

Плотный звук контрафагота имеет грозный и темный, почти органский характер. Этот инструмент почти никогда не выдвигается в оркестре на положение солиста. Чаще всего контрафагот удваивает партии фаготов или же контрабасов, усиливая густоту их звучания, либо исполняет те басовые звуки, которые недоступны фаготу. Особенной полнотой звучания отличаются самые низкие ступени субконтроктавы и вся контроктава. Эти наиболее низкие звуки современного усовершенствованного контрафагота в своем звучании имеют много общего с густым басом органа.

Запись деревянных духовых инструментов

Отличительной особенностью всей деревянной группы духовых инструментов является отсутствие ярко выраженных характеристик направленности. Поскольку звуковые волны, возникающие в трубках инструментов, замыкаются на отверстия, которые определяют высоту нот, основная звуковая энергия излучается примерно из этих же отверстий. Излучение из раструба почти отсутствует – оттуда излучаются только обертоны выше 5...8 кГц.

Из-за наличия посторонних призвуков – шипения воздуха и стука клапанов – микрофоны, озвучивающие деревянные духовые, следует устанавливать на некотором расстоянии до инструментов. Из-за высокочастотного и импульсного характера эти паразитные звуки плохо поддаются реверберационной обработке, вследствие чего имеют свойство проникать на передний план стереопанорамы.

Тембровая окраска звучания деревянных инструментов в меньшей степени зависит от выбора точки расположения микрофона, однако наличие ярких узкополосных формант позволяет достаточно просто корректировать звучание инструментов с помощью спектроанализатора и параметрических эквалайзеров с гибко настраиваемыми средними частотами и добротностями фильтров.

Из-за разнохарактерности регистров почти все духовые инструменты с благодарностью отзываются на реверберационную окраску, объединяющую основные и поддерживающие партии и «цементирующую» общий музыкальный баланс группы. При записи современных произведений духовые партии можно попробовать уплотнить всевозможными обработками типа хора, флэнджера, гармонайзера, системы задержки с обратными и перекрестными на другие инструменты связями.

Медные духовые инструменты

К духовым инструментам медной группы принадлежат корнеты, альт-корне- ты, теноры, баритоны, трубы, тромбоны, валторны, тубы и фанфары. Рассмотрим особенности их акустики.

Корнет

Название инструмента происходит от латинского *cornu* – рог. Изобретение корнета относят к XIX веку.

Корнет (ит., нем. Kornettino, франц. cornet, англ. cornet) состоит из сочленения цилиндрической и конической трубок, заканчивающихся с одной стороны раструбом, с другой стороны – приставным мундштуком. Механизм управления – вентильный (цилиндрический или помповый).

В нижней части своего диапазона корнет звучит сдавленно, тускло, недостаточно гибко в динамическом отношении. В этом регистре корнет применяется редко, преимущественно в унисон с другими инструментами, что нужно отслеживать по партитуре при необходимости восстановления звуко-режиссером музыкального баланса. В верхнем регистре корнет приобретает напряженность, блеск, резкость звука, особую эмоциональную насыщенность. В партитурах для духового оркестра принято писать две партии для корнетов, первая – для проведения самых высоких голосов основной группы, вторая проще – для более низкого голоса сопрановой тесситуры. В симфонических оркестрах партия корнета может быть заменена трубой.

Альт-корнет

За свою историю конструкция альты подвергалась неоднократным изменениям. В современной практике утвердилась овальная форма альты (итал., англ. alto, франц. saxhornalto, нем. Althorn), способствующая смягчению излишней резкости (по сравнению с трубами) либо осветлению приглушенного звука (по сравнению с валторнами). При записи альты нужно постараться сохранить его достоинства: полнозвучный и экспрессивный средний регистр, наиболее приспособленный для проведения плавных распевных мелодий подвижного характера; ясность и четкость извлечения звука, способствующую ритмической отчетливости мелодических и сопровождающих голосов. В случаях исполнения альтом звуков малой октавы, следует быть готовым к тому, что его звучание станет расплывчатым, напряженным и тусклым.

Тенор

Звучание тенора (итал. flicornotenore, франц. bugletenore, нем., англ. Tenorhorn) на протяжении всего диапазона относительно равномерно. Для тенора характерен полный и мягкий тембр. В верхнем регистре можно ожидать некоторую напряженность звучания, но тембровая мягкость, динамическая свобода, непринужденность звучания все равно сохраняются. И только в самом низу – от *ля* малой октавы – звук тенора затемняется, становится менее насыщенным и требует поддержки в унисон других инструментов.

Баритон

Баритон (итал. eufonio, франц., нем., англ. Euphonium) справедливо считается наиболее совершенным видом инструмента своей группы. Для него характерны: гармоническое соответствие пропорций трубки, мундштука и мензуры; совпадение расходуемого при игре воздуха с естественным объемом выдыхания; свободное положение амбушюра исполнителя. Эти сочетания создают все условия для рождения звука с превосходной насыщенностью, певучестью, теплотой и экспрессивностью. Баритон великолепен во всем своем диапазоне. В верхнем регистре всевозрастающая напряженность еще более оттеняет широкую распевность его звучания. Нижнему регистру свойственен му-

жественный, несколько суровый колорит. В баритоновой, теноровой и альтовой тесситурах баритон лидирует. При недостатке баритона к нему может присоединиться тенор, отлично сливающийся с баритоном по тембру.

К сожалению, этому инструменту присущи и некоторые недостатки, не позволяющие исполнять подвижные голоса с той же легкостью и отчетливостью, которые свойственны, например, корнетам.

Труба

Сохранились свидетельства глубокого уважения к трубам древних египтян, греков, римлян. Трубы применялись и в качестве утилитарных сигнальных устройств в военных сражениях, и во время народных празднеств, и даже при культовых богослужениях. Скорее всего, название инструмента происходит от древневерхненемецкого *trumba*.

По объему и аппликатуре труба (ит. *tromba*, нем. *Trompete*, фр. *trompette*, англ. *trumpet*) сходна с корнетом. Однако конструкция, тембр, характер звучания регистров у нее совершенно иные. Мундштук трубы имеет мелкую в виде полушария чашку с выраженным переходом в устье. Все это придает тембру звучания трубы большую яркость и блеск.

Существуют трубы разных размеров и строев, но в настоящее время используются обычно только сопрано *in B* (*в си-бемоль*) или *in C* (*в до*) с диапазоном в две с половиной октавы.

Нижний регистр трубы обладает сильным, но несколько сдавленным звуком, поэтому и применяется он в соединении с другими инструментами. Средний регистр более выразителен и гибок в динамическом отношении – динамический диапазон увеличивается до 35 дБ (от 53 до 88 дБ). При переходе на верхний регистр звучание трубы начинает приобретать наиболее яркий и звучный характер. При этом мощность звука увеличивается, но динамический диапазон уменьшается до 20 дБ. Применение высшего регистра крайне ограничено из-за недостатка динамических возможностей инструмента на верхних нотах. С тем чтобы избежать этой проблемы, для эстрадных и джазовых оркестров были сконструированы спе-

циальные трубы, более приспособленные для звукоизвлечения именно на наивысших тонах.

Для коррекции звучания труб выпускается множество сурдин, порождающих новые разнообразные тембровые окраски. Чаще других применяются сурдины, создающие мягкий, нежный и матовый колорит.

Поскольку партия трубы может обладать ярким ритмическим рисунком, звукорежиссеру следует крайне внимательно отнестись к характеристикам модели искусственной реверберации, чтобы не «размыть» характерные нюансы атаки звука.

Частотный диапазон основных тонов трубы простирается от 230 до 1180 Гц, обертонов – до 9 кГц. За полноту звучания отвечает диапазон 120...240 Гц, за яркость – гармоники в районе 5 кГц; атака подчеркивается выделением частоты 8 кГц. Применение обрезного фильтра с частотой среза менее 15 кГц может существенно повлиять на воздушность звучания группы труб. Время атаки, огибающей от 10 до 20 миллисекунд. Некоторые исследователи-акустики отмечают любопытный факт, характерный для медных духовых – гармоники в звучании возникают значительно позже основного тона. Так, третья гармоника появляется через 40 миллисекунд после возникновения сигнала. При этом наиболее яркие обертоны ограничены узким углом излучения. Если возникает необходимость их озвучивать, микрофон можно установить на пути движения воздушной струи, но даже при небольших движениях музыканта тембр на выходе приемника звука будет слишком явно изменяться. Дабы избежать столь неприятного эффекта, при записи сольной трубы перед ней рекомендуется устанавливать небольшой акустический экран, а микрофон размещать чуть в стороне от оси излучения – в точку с хорошим балансом прямых и отраженных от экрана волн. Кстати, при установке конденсаторного микрофона в непосредственной близости от раструба не стоит забывать о большой акустической мощности инструмента и возможности перегрузки входных цепей микрофона.

Тромбон

В форме, близкой к современной, тромбон (ит., англ., фр. Trombone, нем. Posaune) известен с XV в. До XIX в. тромбоны находили применение преимущественно в церковных оркестрах, иногда – в опере. Тромбон получил свое название от итальянского наименования трубы – *tromba* – с увеличительным суффиксом «one», *trombone*. И действительно, трубка тромбона вдвое длиннее, чем у трубы. Высота звука у тромбона регулируется за счет изменения длины трубы с помощью специального приспособления – кулисы. По характеру звучания и образности тембровых красок тромбон отчасти приближается к трубе, но диапазон у него ниже и звук массивнее, чем у трубы. Нижний регистр тромбона не очень приятен, он недостаточен по силе и обладает несколько дребезжающим звучанием. Средний регистр самый яркий и звучный, с большим динамическим диапазоном. Верхний регистр начинает звучать несколько напряженно и к высшему регистру динамика звука теряет устойчивость, требуя от исполнителя изрядного мастерства.

В целом тембру тромбона свойственна большая четкость в извлечении звука по сравнению с тенором и баритоном и мощная, яркая, блестящая звучность.

Самым сложным исполнительским приемом является *legato*, гамма на нем не столь стремительна и четка, *forte* тяжеловато.

Если конструкция стереофонической картины позволяет, то, при отсутствии яркого ритмического рисунка, помощь звукорежиссера по некоторому «размыванию» партии тромбона реверберацией не будет лишней.

Изредка в партитурах тромбонов имеются указания к применению сурдин. Громкость звука от этого не особенно страдает (в отличие от трубы или валторны), но его тембр претерпевает серьезные изменения – на *piano* в звуке появляется носовой оттенок, *forte* приводит к характерному треску.

При записи симфонического оркестра некоторые специфические проблемы возникают с озвучиванием группы труб и тромбонов. Неприятности вызваны ярко выраженной направленностью излучения звука в широком спектре

частот. Только на самых низких нотах диаграмма направленности для основных тонов приближается к круговой. Музыкальный баланс симфонического оркестра, обуславливаемый долей медной группы и определяемый дирижером, достигает оптимального значения лишь в точке расположения дирижера. При установке микрофонов на линии между группами медных инструментов и дирижером (что в большинстве случаев неизбежно) музыкальный и тембральный баланс перекашивается в сторону труб и тромбонов. Отсюда вывод: дополнительных микрофонов для труб и тромбонов не требуется.

Валторна

Прародителем валторны (*waldhorn* – лесной рог) был немецкий охотничий рог круглой формы. Пройдя сложный путь развития, современная вентильная валторна (ит. *corno*, нем. *Waldhorn*, фр. *cor*, англ. *frenchhorn*) приобрела более широкий диапазон и богатое насыщенное звучание. Наиболее распространены инструменты двух типов: трехвентильная в строе *Фа*, и четырехвентильная с укорочением трубки четверым клапаном до строя *Си бемоль*. Встречаются и пятивентильные механизмы с дополнительными строями *Ми* и *Ля*.

Для валторны характерны: большая длина основной трубки (3,74 метра), дважды уложенной в форму круга; очень узкая, в основном коническая, мензура; наличие вентильной системы. Именно такие конструктивные особенности объясняют огромный натуральный звукоряд инструмента и его удивительно мягкое звучание. На тембр валторны существенное влияние оказывает форма ее мундштука, чашечка которого представляет собой не полушарие, а удлиненную воронку с узким ободом, что дает возможность более гибкого управления губным аппаратом при извлечении как низких, так и высоких тонов.

Звук валторны необычайно выразителен и разнообразен по своей тембровой окраске. По богатству палитры, тембровых и динамических красок, по возможности органично сливаться с тембрами других инструментов при одновременном дополнении и обогащении их звучания валторна является признанным лидером в составе духовой группы. Валторна способна создавать са-

мые разные образы: торжественно-героические, широкораспевные, лирико-созерцательные, элегические и даже сказочные.

Наиболее гибким, полнозвучным и выразительным является средний регистр валторны. В нем звучание инструмента приобретает особенно светлые, певучие и поэтичные интонации. В низшем и низком регистрах звук становится хотя и более глухим и слабым, но все равно он остается нежным и певучим. Верхний регистр валторны считается наиболее ярким по динамике и светлым по тембровой окраске. Самые высокие звуки, составляющие высший регистр, обладают напряженным и несколько сдавленным характером, ко всему они требуют от исполнителя большого профессионального мастерства, поэтому применяются редко, преимущественно в *forte* и *fortissimo*.

Кроме исполнителей с типичной для валторны манерой игры, звукорежиссер может встретиться с профессиональным музыкантом, освоившим особые приемы игры на инструменте. Так, валторне подвластны: быстрые диатонические и хроматические пассажи, двойное или тройное стаккато, губные трели в верхних регистрах, глиссандо. Такие технические возможности

требуют при записи особого внимания. Времена атаки и спада компрессоров, характеристики реверберации, типы и точки установки микрофонов должны выбираться с особой тщательностью.

Туба

Считается, что первая туба (ит., франц., нем., англ. Tuba) появилась в Германии в 1835 г., когда по указанию Вильгельма Випрэхта (1802–1872) ее построило известное в свое время музыкально-инструментальное заведение Иохана-Готфрида Морица (1777–1840). Название инструмента незамысловатое: в переводе с латинского *tuba* – труба. Первый басовый инструмент медной группы имел очень резкий и тусклый тембр, а несовершенный в то время вентиляционный механизм сводил к минимуму техническую подвижность. Решив, что конструкция по сути неудачна, мастера предали модель забвенью, и лишь после

доработки знаменитым мастером Адольфом Саксом туба стала удовлетворять высоким требованиям симфонического оркестра.

Туба состоит из длинной, свернутой U-образно металлической трубы широкой мензуры, края которой заканчиваются с одной стороны раструбом, с другой – узким концом с воронкообразным мундштуком.

В центре трубы имеются 3–4 вентиля.

Динамический диапазон тубы равномерен во всех ее регистрах и равен 42 дБ. Тембр ее звучания очень насыщенный, плотный, мягкий, легко управляемый.

Нижний регистр, начинающийся с 33 Гц, в различных нюансах звучит по-разному. На *pianissimo* он бархатный, шелестящий и самый насыщенный обертонами. На *forte* густому тембру добавляется металлический блеск – туба начинает мелко дрожать по всей своей длине с резонансной частотой около 500 Гц. Средний регистр самый удобный, звучный и подвижный. В нем наиболее четко прослушиваются все виды штриховой техники. Тембр близок к тромбоновому, но более густой и сильный. Звук верхнего регистра похож на валторновый. Этот регистр представляет собой большую сложность в исполнении, из-за чего требует ежедневного тренинга, и, зачастую, определяет уровень мастерства исполнителя-медника.

Расход воздуха на тубе огромен. Порой, особенно в *forte* в низком регистре, исполнитель вынужден менять дыхание на каждом звуке. Поэтому соло на этом инструменте обычно довольно коротки. Технически туба подвижна, хотя и грузна. Основной диапазон басов – средний. Именно в нем излагается мелодия. Нижний регистр применяется преимущественно у большого баса – единственного представителя медной духовой группы во всей контроктаве.

Фанфара

Фанфара (ит. *fanfara*, нем., фр., англ. *Fanfare*) относится к классу сигнальных духовых инструментов с натуральным звукорядом; вентиляей или других приспособлений для управления высотой звука не имеет. Сфера применения

фанфар обычно ограничивается маршами или парадными позывными. Особенных сложностей запись фанфар не вызывает, кроме случаев исполнения двойного или тройного стаккато, когда излишнее компрессирование или «размывание» реверберацией могут внести незапланированные автором искажения ритмического рисунка.

Особенности записи медных духовых инструментов

Технология записи медных духовых инструментов связана с некоторыми специфическими проблемами:

- исполнителям требуются ежедневные тренировки амбушюрного аппарата и «разогрев» перед концертом;
- время репетиции и число записываемых дублей должно быть по возможности ограничено. Музыканты не могут играть долго, потому что у них устают губы, вследствие чего начинает страдать интонация, появляются «киксы» и другие ошибки;
- строй медных духовых зависит от температуры окружающего воздуха. Разогретый инструмент звучит несколько выше холодного. Подстройка, возможная для ряда инструментов за счет выдвижения кронов, распространяется, увы, не на весь звукоряд.

Смычковые струнные инструменты

Скрипка

Ни один из инструментов не изучался так тщательно, как скрипка (ит. violino, фр. violon, англ. violin, нем. Violine, Geige). Благодаря знаменитым брешанским и кремонским мастерам XVI–XVIII вв. – Гаспаро да Сало, Дж. Маджини, Н. Амати, А. Страдивари, Дж. Гварнери дель Джезу и другим – для королевы симфонического оркестра эмпирическим путем была найдена оптимальная, выверенная до мелочей конструкция. Но до сих пор, несмотря на достижения в области современной акустики и возможности компьютерного мо-

делирования, не удалось вывести формулы для расчетов и выработать рекомендации по производству скрипки.

Отсутствие теоретической модели вынуждает мастеров подходить к изготовлению смычковых инструментов с особой тщательностью. Считается, что резонатор хорошего инструмента должен подчеркивать нужные для тембра частоты и приглушать все ненужные оттенки. Для этого дека перед установкой в скрипку проходит этап своеобразной настройки. Выстукиваются и прослушиваются определенные места, состругиваются тонкие слои лишнего дерева. Иногда доводка требуется и после сборки инструмента. Необходимость в настройке возникает также при изготовлении и расположении дужки, поскольку она не приклеивается к корпусу, а ставится в распор между деками.

Скрипка классифицируется как смычковый музыкальный инструмент с четырьмя струнами, настроенными по квинтам. Диапазон ее основных тонов превышает четыре октавы.

Проведение смычком по струне порождает в ней колебательные процессы, имеющие сложную форму. В скрипичном семействе инструментов долгие звуки извлекаются смычком, с помощью которого к струне прикладывается переменная вынуждающая сила, поддерживающая колебания струны. Под действием движущегося смычка струна за счет трения отводится в сторону, пока из-за увеличения силы натяжения не срывается. Вернувшись в исходное положение, она снова увлекается смычком. Этот процесс повторяется, так что на струну действует периодическая внешняя сила.

Огромную роль в формировании тембра скрипичных инструментов играют струны. Строение струн для скрипки, альты и виолончели намного сложнее, чем для щипковых инструментов. Здесь используется несколько видов проволоки (иногда комбинируемых из разных материалов), причем зачастую как круглого профиля, так и плоского. Струны имеют несколько слоев обмотки, каждый из которых требует определенного типа шлифовки.

Для усиления звука вибрирующих струн в скрипке используется корпус – акустический резонатор сложной конструкции и формы. Скрипичный резона-

тор отличается от инструментов другого типа тем, что излучение звука у него происходит не от одной передней поверхности, а от всего корпуса. Однако основная часть звука излучается все-таки верхней декой и из «эфов»-прорезей в форме латинской буквы f. Эфы концентрируют, в основном, высокие гармоники, узкими лучами направляемые поперек поверхности инструмента. Для более низких часто существуют и другие направления, в основном под углом 45° к плоскости деки.

Для скрипичного корпуса характерно наличие не очень громкой форманты в районе 240...270 Гц, придающей звучанию инструмента некоторую теплоту, и ярко выраженной резонансной частоты около 500 Гц. В зависимости от изменения геометрических размеров инструмента этот параметр может принимать несколько иное значение. Когда берется нота, частота которой близка к цифре 500 Гц, может возникнуть нежелательный вибрирующий звук, называемый «волчьим тоном». Воздушная полость внутри скрипичного корпуса тоже имеет свои резонансные частоты, главная из которых расположена вблизи 400 Гц. Наличие неправильных искривлений и впадин обеспечивает корпусу возникновение многих других тесно расположенных резонансных частот в диапазоне от 3000 до 6000 Гц. Они явно выше всех нот низкого регистра, именно поэтому на самых низких нотах основной тон выражен слабо.

За яркую «скрипучую» атаку отвечает диапазон частот в районе 7...10 кГц. Уникальную формантную группу в области 2...3 кГц, придающую звукам скрипки некоторую полетность и звонкость, имеют инструменты, изготовленные Страдивари.

У струнных смычковых инструментов существует множество способов звукоизвлечения и так называемых штрихов, позволяющих изменить окраску звука и характер выразительности. Для создания матовой, приглушенной, завуалированной окраски применяются сурдины – специальные глушители, надеваемые на подставку инструментов.

Обычно смычок касается струны примерно посередине расстояния между грифом и подставкой, на которую натянуты струны. Если же смычок ведется

вблизи грифа, возникает более приглушенный, матовый звук; вблизи подставки – резковатый, пискливый, немного «стеклянный».

Когда исполнители играют на скрипке не смычками, а зацепывая струны пальцами – такой прием называется «пиццикато». Пиццикато дает легкий, отрывистый, суховатый звук, напоминающий щипковые инструменты – гитару, мандолину.

На скрипке можно играть не только на одной, но и на двух соседних струнах сразу. Тогда звучат две мелодии. Больше чем два звука одновременно извлечь нельзя, так как струны расположены не плоско, а на закругленной подставке. Однако скрипачи играют аккорды из трех или даже четырех нот особым приемом – «арпеджиато» – беря звуки не одновременно, а один за другим, быстро скользя по струнам смычком.

Технология звукозаписи скрипок имеет свои уникальные особенности. При слишком близком расположении микрофона, направленного на поверхность деки, кроме основных и обертоновых звуков, может отчетливо проявиться шум, создаваемый смычком, который суммируется с высокими частотами поперечных колебаний струны и создает резкий, скрипучий звук. Если нужно выделить солирующую скрипку среди других инструментов, а звук смычка по некоторым причинам является нежелательным, микрофон можно установить под острым углом к деке или... под инструментом. Когда акустические условия позволяют установить скрипичный микрофон на значительном расстоянии от инструмента (2...6 метров), для сохранения ясности приемник звука лучше всего направить почти строго поперек деки; именно почти, чтобы избежать модуляции тембровой окраски при изменении угла наклона инструмента.

АЛЬТ

Альт (ит. alto, viola, фр. alto, нем. Alt, Bratsche, англ. viola) – это струнный смычковый музыкальный инструмент, внешне похожий на скрипку, но больших размеров и настроенный ниже скрипки на квинту. Самый низкий женский голос – контральто – раньше тоже назывался альтом. А потом это название перешло к од-

ному из струнных инструментов, поскольку его диапазон почти совпадает с диапазоном этого голоса, и тембр похож на контральто – мягкий, грудной, выразительный. Большие длины волн, излучаемые альтом, предполагают соответствующее и значительное увеличение размеров грифа и резонатора.

Тембр современного альта традиционно определяют эпитетами *матовый*, *глуховатый*. Но его звук отнюдь не лишен своеобразной теплоты и обаяния. Этот инструмент незаменим там, где требуется передать образы несколько сумеречные, меланхолические, сдержанно суровые.

Альт – не очень подвижной инструмент. Virtuозные пассажи, бравурные эпизоды – не для него, зато удивительно хорошо передает он мечтательность, лирическое размышление, меланхолическое настроение.

Поскольку в блеске и разнообразии своих выразительных амплуа альт уступает скрипке, как уступает виолончели в сочности тембра, альты значительно реже, чем скрипки, выдвигаются в оркестре на первый план. Часто они лишь удваивают мелодии скрипок либо виолончелей, присоединяясь к ним и придавая большую насыщенность их звучанию. Эпизоды, в которых альт выступает в качестве солирующего инструмента – совсем редкий случай.

С точки зрения звукозаписи, менее яркий звук недостаточно большого инструмента создает более широкую диаграмму направленности, что значительно расширяет зону оптимального размещения приемников звука. С другой стороны, в случае расположения микрофона прямо над инструментом область резонансов, лежащая в верхней части звукового диапазона, придаст звучанию альта пронзительный характер. На частотную коррекцию с благодарностью откликаются несколько формантных зон: в районе 200, 2400 и 4000 Гц.

Виолончель

Виолончель (ит., англ. violoncello, фр. violoncelle, нем. Violoncell) классифицируется как струнный смычковый музыкальный инструмент скрипичного семейства. По размерам (длина 750...768 миллиметров) она значительно превосходит скрипку и альт, но несколько уступает контрабасу (итальянское

violoncello – уменьшительное от *violone* – контрабас). Играют на виолончели сидя, опирая корпус инструмента на специальный металлический штырь.

Четыре струны инструмента настроены по квинтам и на октаву ниже, чем у альты, но они не очень толстые. Партия виолончели в зависимости от tessitura йотируется в басовом, теноровом или скрипичном ключах. Диапазон охватывает более 4-х октав. Приемы игры аналогичны скрипичным, однако технические возможности ограничены.

Тембр виолончели может быть мягким и бархатным, сочным и выразительным; «грудное» звучание инструмента часто сравнивают с человеческим голосом (баритоном). Нижний регистр виолончели менее ярок и обычно применяется для аккомпанемента другим инструментам и для басовых нот аккордов оркестра. Средний регистр красив и благороден. Особенно выразителен верхний регистр, где тембр приобретает напряженный, патетический характер. С точки зрения частотной коррекции полезно помнить, что у виолончели три области формант: 250...300 Гц, 400...500 Гц и 1,5 кГц.

Динамический диапазон инструмента составляет всего 35 дБ (от 35 дБ до 70 дБ).

У виолончели довольно вялая атака из-за большой массы струн, подставки и деки. При игре смычком время атаки составляет до 500 мс, и лишь при пиццикато оно уменьшается до приемлемых 15 мс. По этой причине виолончели не столь подвижны, как скрипки, зато успешно конкурируют с ними в мелодическом пении и наравне со скрипками выступают в качестве солирующего инструмента.

Микрофоны для озвучивания виолончели традиционно устанавливаются на среднем расстоянии от инструмента. Уменьшение расстояния и передвижение приемника звука в вертикальной плоскости способно до неузнаваемости исказить мелодический характер звучания виолончели.

Контрабас

Контрабас (ит. *contrabasso*, нем. *Kontrabass*, фр. *contrabasse*, англ. *doublebass*) – (от итальянского *contrabasso*) – самый большой по размеру и низкий по звучанию струнный смычковый инструмент. Создан в середине XVII в. итальянцем Микеле Тодини на основе контрабасовой виолы да гамба и сохранил в верхней части корпуса ее очертания и близкий ей строй. Имеет 4 струны квартовой настройки с диапазоном в 4 октавы – от *ми* контроктавы до *соль* первой октавы.

На контрабасе, как и на других струнных смычковых инструментах, играют главным образом смычком («арко») или щипком («пиццикато»).

Строгих канонов изготовления контрабасов не существует, его размеры могут колебаться от 180 до 200 см.

Тембр контрабаса темный, суровый, несколько тяжеловатый. Преобладающая обязанность контрабасов – создание басовой опоры, поддержка всего оркестра. Часто они дублируют октавой ниже то, что играют виолончели. Солирует контрабас чрезвычайно редко, лишь в особых случаях.

Являясь мощным генератором низких частот, звучание контрабаса в значительной степени зависит от окружающей акустической обстановки. Играют на нем стоя или сидя на высоком табурете.

В хорошей акустической обстановке звук контрабаса останется чистым, ясным и четким.

Контрабас излучает звук наилучшего качества из области подставки в направлении под прямым углом к корпусу. В качестве приемника звука целесообразно использовать конденсаторный микрофон с кардиоидной ДН, направляемый прямо на подставку и устанавливаемый на расстоянии около 30 см от нее.

Спектр контрабаса состоит из двух частей – мощного низа и специфического призвука атаки. Именно высокочастотная часть тембра, простирающаяся до 8 кГц, позволяет слушателю локализовать инструмент, основные тона которого привязать к пространству практически невозможно.

В идеальном случае контрабасы, находящиеся в группе, следует озвучивать персональными близко расположенными микрофонами. Недостаток «полноты» звучания можно компенсировать легким подчеркиванием формант корпуса, лежащих в районе 80...100 Гц и 200 Гц, и усилением области вокруг частоты 2,5 кГц, где расположена одна из струнных формант.

Щипковые струнные инструменты

Арфа

Современная арфа (ит. *агра*, фр. *harpe*, нем. *Harfe*, англ. *harp*) – струнный щипковый инструмент с сорока шестью струнами, оснащенный небольшим резонатором без грифа. При помощи семи педалей, укорачивающих, когда это необходимо, те или иные струны, на арфе можно извлечь все звуки – от *ре-бемоль* контроктавы до *фа-диез* четвертой октавы. Играют на арфе подушечками пальцев обеих рук. Из-за этого звучание арфы относительно тихое, с небольшим динамическим диапазоном (около 20 дБ).

Арфа должна издавать нежный легкий звук, характер которого может изменяться в зависимости от того места, где перебирают струны. В середине струны звучание получается очень чистым, ближе к краям появляются яркие, звенящие оттенки. Почти для всех струн имеется возможность применения особого приема: звук извлекается с помощью большого и указательного пальца, при этом локоть, слегка касаясь середины струны, гасит звучание основного тона, оставляя нетронутыми верхние обертоны.

Виртуозные возможности арфы довольно своеобразны: на ней прекрасно удаются широкие аккорды, *glissando*– скольжение руки по всем струнам, настроенным на какой-нибудь аккорд, флежолеты. Интересно, что арфа внесла частичку своего характера в музыкальную историю – ей посвящен один из терминов – *arpeggio*, что в переводе означает «как будто на арфе», потому что именно для этого инструмента он наиболее характерен. В оркестре роль арфы не столько эмоциональная, сколько красочная. Арфа часто аккомпанирует разным инструментам оркестра; в других случаях ей поручают эффектные соло.

Для уменьшения проникновения механических шумов микрофоны лучше всего установить на линии, слегка сдвинутой по отношению к передней оси, над ней. Микрофон лучше направить непосредственно на деку, что может дать более красивый и сбалансированный звук, обогащенный формантой дека в районе 200 Гц.

Акустическая гитара

Гитара (*chitarra*) – струнный щипковый инструмент с восьмеркообразным корпусом; принадлежит к семейству лютен. Испанское название инструмента «*guitarra*» происходит от греческого «*cifara*».

Первые сведения о гитаре относятся к глубокой древности. На египетских памятниках тысячелетней давности встречаются изображения музыкального инструмента – наблы, внешним видом напоминающего гитару. Как свидетельствуют иероглифические надписи, набла – символ добра. Гитара получила распространение и в Азии, что подтверждают изображения на архитектурных памятниках Ассирии, Вавилона и Финикии. В XIII в. арабы завезли ее в Испанию, после чего она вскоре получила широкое признание. Первоначально гитара имела четыре, затем пять струн. В XVI в. в своем четырехструнном варианте гитара была завезена конкистадорами в Америку, где и сейчас применяется в народной музыке латиноамериканских стран. Шестая струна появилась значительно позже, в 1788 г. В XVIII в. складывается классический тип гитары, распространившийся по всему миру.

Конструкция и акустика инструмента

Конструкция гитары, в отличие от скрипичных инструментов, не стандартизирована. Возможны десятки авторских вариантов, отличающихся как внешним видом – формами и размерами корпуса, так и технологическими хитростями изготовления инструмента.

Колебания струны передаются верхней деке, она создает колебания воздуха, которые мы и слышим. Верхняя дека, как единая плоскость, колеблется в полосе нижних частот – примерно до 200 Гц. На частотах выше 200 Гц в раз-

ных местах верхней деки появляются области, которые начинают колебаться независимо друг от друга со своими частотами и фазами. Таких областей может быть достаточно много. Чем их больше, тем богаче и неповторимее тембр. Особенности тембральной окраски зависят от секретов и качества изготовления верхней деки. Чаще всего ее изготавливают из «резонансной» ели или кедра. Но могут использоваться и такие породы, как ясень, клен, явор, ольха, тополь. Изредка применяют американскую липу, красное дерево (махогони), орех, дуб, вяз, граб, иву и кедр. Каждая порода дерева звучит по-своему. По звучанию древесину делят на три группы: легкое, среднее и тяжелое дерево. В используемом куске не должно быть сучков, свилей и других пороков. Изнутри верхнюю деку оснащают еловыми планками особой формы. Еловые пружины способны разделить единую плоскость на участки, имеющие собственные резонансные частоты.

Нижняя дека и обечайки также придают звучанию дополнительную окраску, но их роль значительно меньше. Однако заменой ее материала можно несколько изменить теплоту тембра. Мастера экспериментируют с палисандром, красным деревом, комлем березы, орехом.

Материал для гитары, как и для любого другого деревянного инструмента, должен быть не просто высушенным. У «обычного» сухого дерева капилляры сухие, и при повышении влажности они быстро заполняются водой. У выдержанных заготовок капилляры насыщаются смолой и влажности уже не боятся. Если раньше старение деревянных брусков шло естественным путем, то на сегодняшний день разработаны технологии эффективной ускоренной сушки. Так, например, с помощью мощных звуковых волн, заполняющих акустическую камеру с деревянными заготовками, можно создать микровибрации древесины, которые выгонят влагу наружу и заполнят поры смолой. Громкий звук способен размягчить многие виды древесных смол даже в условиях относительно низких температур, что дает возможность получать крайне низкие коэффициенты коробления заготовок и высокую эксплуатационную устойчивость материала.

Поскольку кузов акустической гитары является, по сути, резонансным усилителем и гармонизатором входного звука, его акустические свойства можно оценить, не прибегая к помощи струн. Достаточно лишь легонько ударить по деке, поднести ухо к резонаторному отверстию и станет слышно, как звучит дерево, обработанное руками мастера.

Корпус гитары имеет резонансную частоту в районе ноты *соль* малой октавы – около 200 Гц (третья открытая струна) – и зависит от применяемой конструкции и расстояния между деками. Акустическая гитара имеет и вторую резонансную частоту, которая равна 100...120 Гц и зависит от объема воздуха внутри кузова. Этот диапазон частот для гитары оказывается самым низким и имеет значительное влияние на общий тембральный баланс инструмента.

В верхней деке имеется круглое отверстие (розетка или «голосник»). Бывают розетки и другой конфигурации. Например, у гитар, предназначенных для звукоизвлечения медиатором, голосник обычно состоит из двух отверстий, имеющих форму латинской буквы *f*. Они вносят новые оттенки в звучание инструмента, а также позволяют получать более сильные высокие звуки на ладах выше 12-го.

Кроме кузова гитары, большое влияние на тембральную окраску ее звучания оказывает тип струн. Нейлоновые струны обычно используются в классической музыке, приверженцы других направлений и стилей предпочитают металлические струны. Вопреки расхожему мнению, серебряное покрытие для струн на металлической основе никак не отражается на тембральной окраске их звучания. Но серебряное гальваническое покрытие медной проволоки, применяемое для басовых нейлоновых струн, заметно улучшает звучание глухой меди. Делать струны с обмоткой из монолитного серебра очень дорого и непрактично, поэтому серебряное покрытие на меди составляет всего-то несколько тысячных долей миллиметра, вследствие чего оно довольно быстро вытирается. Чем больше сотрется покрытие, тем глуше становится струна.

Эти и другие конструктивные особенности позволяют производить недорогие, компактные, сбалансированные по техническим и выразительным воз-

возможностям инструменты, применимые как для сольного исполнения, так и для аккомпанемента.

Не самым удачным конструкторским решением является винтовое регулируемое присоединение грифа к кузову гитары. По сравнению с классическим вклеенным, оно обеспечивает более быстрое затухание колебаний струн, или как говорят музыканты, «меньший сустэйн».

Особенности записи акустической гитары

Самый распространенный способ студийной записи акустической гитары – с помощью одного-двух конденсаторных микрофонов, направляемых на середину между местом соединения грифа с корпусом и резонирующим отверстием. Направление непосредственно на голосник приводит к излишне гулкому звучанию. При записи двумя микрофонами можно попробовать установить второй приемник звуковых колебаний со стороны правой руки исполнителя, на линии продолжения гитарного грифа. Расстояние от него до гитары должно быть таким же, как и у первого микрофона.

Кроме микрофонов, мировая музыкальная промышленность выпускает специальные *магнитные* и *пьезоэлектрические звукосниматели* для акустических гитар, которые стандартно устанавливаются под нижним порожком. Звукосниматели в состоянии реагировать или на колебания струн (магнитный вариант) или на изменение давления на нижний порожек (пьезоэлектрическая версия).

Звукосниматели воспринимают преимущественно энергию колебания струн, слабо реагируя на резонансы корпуса гитары, приближая звучание акустического инструмента к электрическому собрату. С появлением полимерных пьезоэлектрических материалов, обладающих большей пластичностью, нежели у керамической основы, появилась возможность частично озвучивать колебания деки, присутствующие в месте установки звукоснимателя.

Специфичные духовые инструменты

Орган Орган – *Organo* – (от греческого *organon* – орудие, инструмент) относится к классу клавишных духовых трубных инструментов с механическим

способом нагнетания воздуха в ряд разнообразных труб, каждая из которых настроена на один-единственный основной тон, излучаемый с одной силой и имеющий сложную систему обертонов. Чтобы получить звуки различной высоты, нужно иметь большой набор труб. В простейшем случае их количество равно числу клавиш в клавиатуре: по одной трубе на каждый тон; в современных органах от *До* большой октавы до *соль, ля* третьей или *до* четвертой – в клавиатурах для игры руками (мануалах, от латинского *manus* – рука) и от *До* большой октавы до *фа* или *соль* первой в клавиатуре для игры ногами (педали, от латинского *pedus* – нога). Органист сидит за так называемым *шпильтишем* (кафедрой), перед ним – клавиатуры (мануалы) органа, расположенные террасами одна над другой, а под ногами – педальная клавиатура.

Воздух в трубы современного органа нагнетается сложной пневматической системой, состоящей из электродвигателя, вращающего крыльчатку, и стабилизатора давления воздушной струи. Такая конструкция позволяет извлекать ровные по громкости ноты любой длительности. Продолжительность некоторых нот может достигать нескольких минут. Обычно это низкие тона, на фоне которых развиваются основные события. Для уменьшения шума воздух от электронасоса передается через деревянные воздухопроводы и поступает в *виндлады* – систему деревянных ящиков с отверстиями в верхней крышке. В этих отверстиях укреплены своими «ножками» органые трубы. Из *виндлад* воздух под давлением поступает в ту или иную трубу.

Количество труб зависит от числа регистров, которыми оснащается орган. Регистров может быть до сотни и более. Сложная система переключателей позволяет выбирать для исполнения конкретного произведения набор из тех или иных излучателей. Тенденция к созданию все более крупных органов достигла кульминации в огромном, насчитывающем 33 112 трубы.

Регистром органа называется ряд труб единого тембра и единой конструкции, из одного и того же материала разной высоты звучания, соответствующей тонам современной хроматической последовательности из 12-ти полутонов. Каждый регистр имеет свое название. В простейшем случае оно про-

исходит от длины наибольшей из используемых труб – 32-футовый, 16-футовый, 8-футовый, 4-футовый. Если в регистре один звук создается несколькими, различными по характеру трубами, он получает название «микстура»; каждому звукорежиссеру, знающему латынь, известен перевод этого слова – «смесь». Регистры, имитирующие звучание других инструментов, соответственно, носят их названия. Некоторые органы, особенно театральные, имеют также ударные тембры, например, имитирующие тарелки и барабан. Опираясь на характер произведения, каждый музыкант волен выбирать те или иные тембры или комбинации регистров. В этом плане орган неисчерпаем и каждое исполнение уникально.

От чего зависит тембровая окраска звучания трубы?

Во-первых, от способа генерирования звука. По типу звукоизвлечения трубы делятся на *лабиальные* – свистковые, звук в которых образуется как у флейты и *язычковые*, звук у них образуется по аналогии с баяном. По внешнему виду лабиальные трубы отличаются наличием красиво оформленной поперечной щели с заостренным краем, о который разбивается воздушная струя. Встречаясь с препятствием, поток воздуха создает определенные завихрения, которые можно описать в виде колебательных процессов с широким спектром генерируемых частот, одна из которых усиливается резонансной трубой заданной длины. Из-за изящного вида и особенностей звукоизвлечения лабиальные трубы стараются располагать на фасаде органа. При открытии клапана сплошной (без прорезей) трубы воздух попадает на металлический язычок, генерирующий узкий спектр частот в заданном диапазоне тонов. Подвижный ползок позволяет в ограниченных пределах изменять длину звучащей части язычка, таким образом осуществляется настройка. Чем короче не зажатая часть язычка, тем выше основной тон, чем она длиннее – тем ниже тон.

Свой вклад в особенности звучания вносит и форма трубы. Трубы воронковидной формы усиливают звук, форсируют его. И, наоборот, трубы, сужающиеся к верхнему концу (конические), как бы прикрывают, приглушают звук, сообщая ему более таинственные тембры. Форм труб существует великое мно-

жество. Основные виды – цилиндрические, конические, воронковидные, открытые и закрытые подразделяются на многочисленные промежуточные формы и виды: полуприкрытые, веретенообразные, шаровые, в виде сдвоенных конусов и т. п.

В определенной степени характер тембра зависит и от того, открыт или закрыт выходной торец трубы. Открытые трубы обладают ясным и конкретным тембром, закрытые звучат приглушенно. С точки зрения акустики причина отличий в звучании достаточно проста. У открытого конца возникает пучность стоячей волны, а у закрытого – узел.

Таким образом, закрытые трубы звучат на октаву выше открытых. В первом случае обертоны равны удвоенному, утроенному и так далее значению основной частоты. Для трубы, открытой с одного конца, обертоны будут больше основной частоты в 3, 5, 7 и так далее раз.

На звучание труб влияет и соотношение ее длины к диаметру. Чем шире труба, тем ее звук мягче, неопределеннее, объемнее. У труб средней ширины звучание четкое, сдержанное, конкретное. Чем меньше диаметр трубы, тем большее в ее звучании проявляется качество, схожее со звучанием струнных смычковых инструментов. Тембр таких труб интенсивный, немного напряженный, очень характерный.

В значительной степени тембр звука зависит и от материалов, применяемых для изготовления трубы. В качестве таковых используются дерево, металл, сложные сплавы из олова, свинца, меди, латуни. Для изготовления больших, низко звучащих труб применяется сосна, дуб, красное дерево, буковые породы, орех и другие виды древесины. Редко встречается бамбук. Дерево должно быть хорошо просушено, обладать ровной слоистой структурой без сучков. Из металлов органные мастера с давних пор используют сплав свинца и олова в различных пропорциях, который часто так и называют «органный металл». Красивые блестящие трубы, находящиеся в передней, видимой части органа (в *органном проспекте*), изготавливаются из сплава с высоким содержанием олова (70...90%) или из чистого олова.

Изначальная интенсивность звука задается с помощью настройки стабилизатора давления воздуха в системе. Но имеется и возможность ее оперативной ступенчатой регулировки. При исполнении *crescendo* музыкант с суммированием их громкости. На количество работающих в данный момент регистров указывает стрелка на пульте органа. Некоторые конструкции инструментов предполагают возможность плавного регулирования мощности звука. Часть регистров располагается за неким подобием акустического жалюзи, угол открытия которого регулируется специальной педалью, расположенной под правой ногой исполнителя. В целом, в подавляющем большинстве случаев динамический диапазон величайшего из духовых инструментов не превышает 35...40 дБ.

Диаграмма направленности прямых звуков органа имеет достаточно сложный характер. Основная энергия звука излучается в потолок, но многие обертоны имеют также и горизонтальную ориентацию. Установление звука происходит в два этапа: сначала в трубе инструмента, затем в зале. Для органа характерна мягкая атака прямого звука, различная для разных тонов и достигающая 300 миллисекунд. Процесс установления звука в помещении имеет одну важную отличительную особенность. Орган способен излучать мощные стационарные звуки низкой частоты, что способствует возникновению стоячих волн, образующих провалы и пучности амплитуды этих частот в некоторых точках зала. Не менее важен и интересен завершающий участок реверберации. Интенсивность отраженных звуков в любой точке концертного зала в 8...16 раз выше прямого звука, излучаемого трубами.

Из-за принципиально большого акустического отношения особенности обработки поверхностей (стен, потолков, мебели) концертного зала в огромной степени влияют на окраску звука. Именно по этой причине проектировщики стараются избегать мягких кресел, гасящих верхние частоты реверберации. Профессионалами замечен и другой неоспоримый факт: орган нужно записывать в пустом, без зрителей, зале. Наличие большого числа зрителей способно в значительной степени изменить акустическую атмосферу помещения.

Особо больших проблем запись органа не представляет. Во всяком случае, возникающие вопросы не сравнимы по масштабу с самим инструментом. При создании фонограммы нужно соблюдать баланс гармоничного сочетания прямого звука и реверберационной составляющей.

Точка установки стереопары микрофонов выбирается на достаточном удалении от инструмента и равноудаленной от крайних труб органа.

Баян

Баян, как и любая гармоника, официально классифицируется в качестве пневматического язычкового музыкального инструмента; принадлежит к группе аэрофонов. В отличие от собратьев, современный баян называют русской хроматической гармоникой.

Строй типичной русской гармошки был диатонический, но для расширения круга тональностей в верхней части ее клавиатуры стали добавлять два-три хроматических звука. В 1905 г. талантливый мастер Петр Стерлигов начал конструировать свой инструмент. Через два года по совету виртуоза-музыканта Якова Федоровича Орианского-Тытаренко Стерлигов изготовил совершенно новую модель инструмента, получившего в честь легендарного русского музыканта, сказителя и певца Бояна (Баяна) название «баян». Баян имел четырехрядную клавиатуру – 52 кнопки в правой и 100 в левой руке. Правая клавиатура предназначена для извлечения отдельных нот в диапазоне 4-5-ти октав, левая рука извлекает басы (звукорядной октавы дублируется в 3-4-х октавах) и готовые аккордовые аккомпанементы (мажорные и минорные трезвучия, септаккорды). Звучание баяна оказалось превосходным, а технические возможности значительно расширились.

Основным звукогенерирующим элементом гармони является штампованная из латуни или дюралюминия рамка с прямоугольной прорезью, к краю которой крепится язычок. Материалом для язычка служит голосовая сталь. Оный язычок закрывает собой почти всю площадь рамки. Если смотреть на просвет, то виден свободный зазор в виде буквы «П» размером в несколько сотых долей

миллиметра. При попадании в зазор воздушной струи язычок начинает вибрировать на определенной его размерами и материалом частоте. Каждый язычок настраивается на свою ноту. Металлическая рамка выступает в роли первого каскада акустического усилителя. Но и после него сила звука оказывается недостаточной. Усиленная рамкой звуковая волна поступает в резонансную камеру, выполненную из ели, которая, кроме функции усиления, обогащает основной тон дополнительными гармониками. Для каждой ноты объем еловой камеры подбирается отдельно.

Рамки с резонансными камерами соединяются в блоки. К блокам подключается линейка клапанов, управляемая клавишами инструмента. При движении мехов внутри гармони создается недостаточное или избыточное давление, порождающее воздушные струи, проходящие через резонансные камеры с язычками.

Если на правой клавиатуре 52 кнопки, значит, внутри инструмента имеется 104 язычка, столько же рамок и 52 резонансные камеры.

Устройство звукового блока левой части баяна не отличается от правой. Изменена лишь схема управления клапанами. При нажатии одной из аккордовых кнопок открывается сразу 3 или 4 клапана.

В современных баянах имеется возможность выбора тембров. При наличии четырех регистров общее число их комбинаций может достигать до пятнадцати. В каждом регистре звучит свой блок язычков. Основной регистр называется «кларнетом». Второй блок получил название «гобой». Оба регистра настраиваются в унисон на основе ноты *ля* первой октавы, соответствующей стандартной частоте 440 Гц. Третий блок – «флейта пикколо» – имеет строй на октаву выше. Четвертый регистр имеет настройку, наоборот, на октаву ниже первых двух и называется «фаготом».

Для качественного озвучивания баяна требуется два микрофона, по одному для левой и правой клавиатур. Естественно, эту двойку приемников звука нельзя рассматривать как стереопару микрофонов; при сведении стереобазу необходимо сузить, дабы не получить при прослушивании фонограммы два

раздельных инструмента. Чтобы уменьшить звучность стука клавиатур, оба микрофона лучше располагать немного сзади исполнителя.

Аккордеон

В свое время был весьма популярен вариант гармони с названием «аккордеон» (от фр. *accordeon*). Без его певучего, томно вибрирующего звука трудно представить себе эстраду 30-х гг. прошлого века.

Аккордеон отличается от баяна форматом правой клавиатуры, которая по форме и по сути является полным аналогом фортепианной клавиатуры. Аккордеон снабжается набором тембровых регистров. В отличие от баяна, одиночные регистры, как правило, не используются, а звучат в содружестве с тремя-четырьмя разноплановыми тембрами. Некоторые модели не имеют акустических отверстий на левой клавиатуре. Такие инструменты можно озвучивать одним микрофоном, устанавливаемым за правой рукой исполнителя.

Губная гармоника

Одним из достаточно популярных вариантов гармони является губная гармоника. Считается, что первым музыкальным инструментом, использовавшим принцип свободного колебания язычка, стал инструмент *Sheng* (Шенг, громкий голос), изобретенный китайской императрицей Нин-Квой в 3000 г. до н. э. (!); образец такого инструмента был привезен путешественником в Западную Европу в XVII столетии.

Прототип современной губной гармоники сконструировал в 1821 г. 16-летний Христиан Фридрих Людвиг Бушманн. Он представлял собой серию стальных язычков, заключенных в небольшие каналы, ноты извлекались на выдохе и располагались хроматически.

Богемский мастер Рихтер разработал модификацию инструмента Бушманна, которая содержала 10 отверстий и 20 язычков, разделенных на две группы; первая звучала на выдохе, вторая на вдохе. Рихтер настроил свой инструмент в

соответствии с диатоническим строем, ставшим впоследствии стандартным для инструментов этого класса.

В 1857 г. судьба губной гармошки изменилась коренным образом после того как немецкий часовщик Матиас Хонер открыл массовое производство «*mund-aeoline*». Губная гармошка получила широчайшее признание и огромную популярность, но не в Германии, а в качестве американского народного инструмента. К концу XIX в. в США продавалось более 5 миллионов губных гармоник ежегодно! Не последнюю роль сыграла невысокая цена инструмента; к примеру, популярная в 1896 г. модель «*MarineBand*» стоила по тем деньгам всего лишь 50 центов.

Фактически, губная гармошка очень похожа на часть баяна. У нее имеются те же язычки и рамки. Однако есть и существенные отличия. Если баян снабжается парой одновысотных язычков, то у губного инструмента на выдохе извлекается один тон, а на вдохе – другой. Полноценного резонатора губной аналог гармонии не имеет, поэтому и звук у него менее громкий и насыщенный.

Существует три основные системы губных гармоний: однорядные, двухрядные октавные и двухрядные тремолирующие. В большинстве случаев все они настраиваются диатонически и выпускаются в семимажорных тональностях (*до, соль, ре, ля, ми, фа, си-бемоль*). Существуют также и оркестровые разновидности губных гармоник (от пикколо до контрабаса), настроенные хроматически.

Для озвучивания губной гармошки подойдет любой более-менее приличный микрофон. Характерно, что классическая электретная модель *HohnerBluesBlaster* основывается на более ранней разработке – *AstaticCTI/JT-30*, исходно выпускавшейся как радиоловительский микрофон. Аналогичная история произошла с динамическим *Shure 520D (520DX)*, который еще называют *GreenBullet* (своим внешним видом он напоминает пулю и обычно выкрашивается в зеленый цвет). Важны не столько качественные характеристики приемника звука, сколько мастерство исполнителя и его умение работать на микро-

фон конкретного типа, ибо то звучание, что слышит блюзмен во время исполнения, и тот звук, который он посылает вперед, во многом отличаются друг от друга.

Электроакустические инструменты

Электрогитара

Первая электрогитара, как это ни покажется странным, появилась... в 1927 г. в... Южной Америке. В начале тридцатых годов прошлого века электрифицировать гитару пытались и в России. Широкое распространение электрогитара получила в 50-е гг. XX в. в период расцвета рок-н-ролла. В 60-е гг. появляется уже целое семейство инструментов: соло, ритм и бас-гитара. Первые бит-группы использовали три электрогитары в качестве основы оркестра, добавляя ударные.

С развитием электроники значительно обогатились возможности электрифицированной гитары; сейчас это универсальный инструмент, использующий компьютерные технологии, которому подвластны практически любые выразительные возможности в различных музыкальных стилях.

По своему принципу электрогитара представляет собой упрощенную версию акустического инструмента с удаленным кузовом, обеспечивавшим гармонизацию и формантные резонансы. В наличии: удлиненный гриф, струны иной мензуры, утратившая колебания косточка для установки струн, звуко-сниматель. Пластина, имитирующая корпус старшей акустической сестры, оказывает некоторое влияние на общее звучание гитары, но по сравнению с возможностями технологии электронной обработки гитарного звука ее роль далеко не так значительна, как это описывают в рекламных проспектах.

Классический способ записи электрических гитар – микрофон плюс комбик. Плюсы очевидны – хорошая динамика и тембр звука; обогащение звучания четными гармониками (обычно на уровне 10%) за счет использования лампового усилителя в режиме перегрузки по входу. Недостатков не меньше: фон уси-

лителя, нелинейность АЧХ микрофона, проникновение внешних акустических шумов и звучания других инструментов.

В электрогитарах могут применяться самые разные типы звукоснимателей. Простейший звукосниматель (*pickup*) представляет собой катушку индуктивности, выполненную в виде магнита с обмоткой из провода. Колебания струны изменяют магнитное поле катушки, что ведет к образованию тока, который усиливается и затем преобразуется в звук. Поскольку металлические струны физически не в состоянии наводить в приемной индуктивности значительные напряжения, конструкторы вынуждены создавать звукосниматели с очень высокой чувствительностью. Вместе с полезным сигналом звукосниматель начинает воспринимать и иные электромагнитные колебания, в том числе наводки с частотой сети и гармоники, кратные 50 Гц. Чтобы уменьшить уровень наводок, применяется схема из двух противофазно включенных катушек. В такой схеме полезные звуки складываются, а помехи вычитаются. Звукосниматель с двумя катушками называется *humbucker* (НВ, *hum*– шум, *buck*– противостоять, англ.), а имеющий одну катушку – *singlecoil* (SC). К сожалению, и «хамбакер» не лишен недостатков. Как оказалось, сделать пару абсолютно одинаковых катушек, расположенных идеально симметрично относительно струн (то есть воспринимающих одинаковую звуковую информацию), не так-то просто. В результате асимметрии у хамбакеров уменьшается уровень передачи верхних частот. При создании современных звукоснимателей конструкторы пошли на очередную хитрость – произвели на свет гибрид *singlecoil* и *humbucker*, у которого дополнительная компенсационная катушка не имеет сердечника. За счет чего наводки она компенсирует, а основной сигнал... практически не воспринимает, а значит и не искажает.

Сингл, расположенный у струнодержателя (*bridgepickup*), и сингл, расположенный у грифа (*neckpickup*), могут не отличаться внешне, но на самом деле обладают различной чувствительностью и частотными характеристиками. Звукосниматели можно поднимать или опускать – чем ближе звукосниматель к

струнам, тем сильнее сигнал и беднее его частотная характеристика, и наоборот.

Лучший вариант записи электрогитары - это запись через предусилитель с высокоомным входом (DI – *DirectInjectBox* – устройство прямого подключения). Дополнительно DI преобразует несимметричный сигнал в симметричный, что позволяет уменьшать уровни наводимых помех и использовать для подключения инструментов более длинные кабели.

Самой качественной является аналоговая обработка гитарного звука.

- на первом этапе выходной сигнал звукоснимателя согласуется по сопротивлению с усилителем;
- после предварительного усиления он поступает на пороговый ограничитель шумов – гейт;
- затем на обрезающей низкочастотный фильтр с частотой среза до 100...200Гц;
- на следующем этапе сигнал получает второе, более значительное усиление;
- в таком виде сигнал поступает на компрессор – ограничитель, проходя который, обогащается новыми гармониками;
- одна их часть (в области 3...6 кГц) усиливается, вторая часть (выше 3...10 кГц) отрезается.

В зависимости от порога обрезания низких частот, степени компрессирования, жесткости ограничения, частоты среза выходного фильтра гитарный звук приобретает новый характер. По описанной схеме работают эффекты, получившие название овердрайв, фуз, сустэйн, дисторшн.

Кроме специфических, гитарный звук можно обрабатывать и универсальными программами: флэнджером, фэйзером, тембровым вибратором, октавером, тремоло, кольцевой модуляцией, добавлять реверберацию, регулировать громкость и глубину обработки динамическими педалями.

Если в результате обработки звучание электрогитары приобрело «бочкообразный» характер, манипуляции с эквалайзером, настроенным на частоту 200 Гц, помогут уменьшить досадный дефект; для устранения неприятного резкого призвука рекомендуется ослабить узкую частотную полосу в районе 1 кГц. Чтобы добиться высокого резкого звука, бывает полезно поэкспериментировать с эквалайзером в полосе 6...10 кГц. Более жесткая атака звука, характерная для рок-исполнения, возникает при удалении узкой полосы частот в интервале 1,5...4 кГц.

Электрогитару для записи лучше всего подключать к линейному входу пульта через ламповый предусилитель, имеющий высококачественные настройки аналоговой гармонизации и компрессии звука. В крайнем случае, функцию согласующего усилителя может выполнить комбик с дополнительным линейным выходом.

Бас-гитара

Являясь мощным средством психологического воздействия (за счет громкого низкочастотного и ритмичного звука), басовые инструменты стали неотъемлемой составляющей современных аранжировок. В большинстве случаев эту роль выполняют четырехструнные басовые электрогитары, но возможны и вариации с включением в группу пяти- и шестиструнных бас-гитар.

Диапазон основных частот четырехструнной бас-гитары лежит в пределах 41...392 Гц. За счет наличия обертонов и атаки звука, имеющей сложный широкий спектр, полоса реально звучащих частот расширяется на порядок. Если инструмент снабжен ладовым грифом, то звучание струн будет обладать жесткостью и конкретностью. При отсутствии порожков на грифе струны получают вместо жесткой опоры мягкие подушечки пальцев, которые неизбежно погасят высокочастотные колебания.

На качество звучания бас-гитары оказывают влияние различные особенности конструкции инструмента. Так, существует четыре способа крепления грифа к корпусу гитары. Первый, *bolt-onneck* (привинченный гриф) – самый

простой вариант. Второй тип крепления сложнее – это технология *gluedneck* (вклеенный гриф). Третий тип – *neck-through* (гриф, проходящий сквозь корпус) – используется во всех относительно дорогих моделях инструмента. Считается, что *neck-through* обеспечивает более длительный «сустэйн» и чистый тон, а единственный недостаток этого метода заключается в некоторой потере глубины звука. Последний, четвертый тип крепления появился относительно недавно и называется *half-throughneck-joint*. Это что-то вроде золотой середины. Применяя этот вариант крепления, можно сохранить хороший «сустэйн» и не потерять глубину звука, поскольку гриф проходит не через весь корпус, а только через его часть.

Естественно, что звучание гитары зависит от характеристик применяемых струн. К самым износостойким и звучащим относятся модели струн, сделанные из материалов *Stainlesssteel* и *24kGoldplated*. Их можно смело применять на любых ладовых бас-гитарах. Струны, сделанные из *Nickelplatedsteel*, *Purenickel* и *Chromeplatedsteel* предлагаются для безладовых инструментов, так как эти материалы намного мягче. А в акустических бас-гитарах используются струны *Brass*, *Bronze*, *Nylon*. Чем толще струны, чем жестче их материал, чем ниже их намагничивающая способность, тем больше нужно прилагать усилий для игры на инструменте.

Звучание бас-гитары вынуждает (и позволяет) проводить коррекцию сигнала специфической эквализацией (*lowcut-hicut*) и жесткой компрессией выходного сигнала, без чего динамические ошибки басиста могут стать слишком очевидными. Для дальнейшей обработки гитарного звука можно использовать хорус (зачастую применяемый в отдельной частотной полосе). Иногда бывает полезен либо необходим по стилю овердрайв, октавер, октавер «вниз» (создающий обертоны на октаву ниже основного тона).

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Практические задания

1. Рассчитать скорость звуковой волны в различных средах.
2. Рассчитать энергию распространения звуковой волны в различных средах.
3. Рассчитать длину звуковой волны.
4. Рассчитать коэффициент поглощения звуковой волны в акустически обработанных помещениях.
5. Рассчитать условия акустического резонанса в замкнутом пространстве.
6. Рассчитать время реверберации в замкнутом пространстве.
7. Смоделировать в DAW эффект маскировки звука по уровню.
8. Смоделировать в DAW эффект маскировки звука по частоте.
9. Смоделировать в DAW эффект Хааса.
10. Выполнить спектральный анализ музыкальной аудиозаписи.
11. Проанализировать запись монофонической фонограммы.
12. Проанализировать запись стереофонической фонограммы.
13. Проанализировать фонограмму с записью ударных инструментов.
14. Проанализировать фонограмму с записью клавишных инструментов.
15. Проанализировать фонограмму с записью духовых инструментов.
16. Проанализировать фонограмму с записью щипковых инструментов.
17. Проанализировать фонограмму с записью смычковых инструментов.
18. Проанализировать фонограмму с записью электроакустических инструментов.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Темы для управляемой самостоятельной работы студентов

1. Звук и условия его возникновения.
2. Распределение звуковой энергии в пространстве.
3. Отражение и поглощение звуковых волн.
4. Акустический резонанс.
5. Звук в замкнутом пространстве.
6. Реверберация.
7. Восприятие звуковых волн человеком.
8. Кривые Флетчера-Мэнсона.
9. Направленные свойства слуха.
10. Моноуральная и бинауральная локализация источников звука.
11. Монофония и стереофония.
12. Акустика музыкальных инструментов.
13. Особенности звучания акустических музыкальных инструментов.
14. Особенности звучания электроакустических музыкальных инструментов.

3.2. Формы и средства диагностики

В рамках учебного процесса по учебной дисциплине «Музыкальная акустика» проводится как промежуточная, так и итоговая диагностика академической успеваемости студентов. К формам промежуточной диагностики причисляются:

- Проверка домашнего практического задания;
- Контрольный урок.

Форма итоговой диагностики успеваемости студентов–зачет.

К числу рекомендуемых средств диагностики успеваемости студентов по учебной дисциплине «Музыкальная акустика» относятся:

- беседа, дискуссия;
- опрос (устный, письменный);
- практическое задание;
- слуховой анализ.

3.3. Перечень вопросов к зачету

1. Распространение звуковых колебаний в упругой среде.
2. Частота звуковых колебаний.
3. Фаза звуковых колебаний.
4. Амплитуда звуковых колебаний.
5. Слышимый частотный диапазон.
6. Поглощение звука.
7. Акустический резонанс.
8. Стоячие волны.
9. Звук в замкнутом пространстве.
10. Поглощение звука в помещениях.
11. Реверберация.
12. Физиология слуха человека.
13. Восприятие звука по частоте.
14. Восприятие звука по амплитуде.
15. Порог слышимости человека.
16. Кривые равной громкости.
17. Динамический диапазон слуха человека.
18. Звуковое давление, единицы измерения.
19. Восприятие звука по тембру.
20. Понятие основного тона.

21. Понятие обертонов(гармоник).
22. Понятие форманты.
23. Направленные свойства слуха человека.
24. Маскировка звука.
25. Эффект Хааса.
26. Локализация источников звука.
27. Моноуральная локализация.
28. Бинауральная локализация.
29. Монофонические фонограммы.
30. Двухканальные стереофонические фонограммы.
31. Особенности звучания ударных инструментов.
32. Особенности звучания клавишных инструментов.
33. Особенности звучания духовых инструментов.
34. Особенности звучания щипковых инструментов.
35. Особенности звучания смычковых инструментов.
36. Особенности звучания электроакустических инструментов.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Учебная программа

ЧАСТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНСТИТУТ СОВРЕМЕННЫХ ЗНАНИЙ ИМЕНИ А.М.ШИРОКОВА»

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Института современных зна-
ний имени А.М.Широкова

А.Л.Капилов

26.06.2024
Регистрационный № УД-02-51/уч.

МУЗЫКАЛЬНАЯ АКУСТИКА

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности
6-05-0215-10 Компьютерная музыка

2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования (ОСВО 6-05-0215-10-2023) по специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка и учебного плана по специальности

СОСТАВИТЕЛЬ:

А.Д.Попроцкий, старший преподаватель кафедры художественного творчества и продюсерства Частного учреждения образования «Институт современных знаний имени А.М.Широкова»

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.С.Дайнеко, Заслуженный артист Республики Беларусь;
М.И.Козлович, проректор по учебной и научной работе Частного учреждения образования «Институт современных знаний имени А.М.Широкова», кандидат искусствоведения, доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой художественного творчества и продюсерства Частного учреждения образования «Институт современных знаний имени А.М.Широкова»
(протокол № 10 от 31.05.2024);

Научно-методическим советом Частного учреждения образования «Институт современных знаний имени А.М.Широкова»
(протокол № 4 от 26.06.2024)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Музыкальная акустика» является составной частью модуля «Основы звукорежиссуры» и является одной из специальных учебных дисциплин, необходимых для профессиональной подготовки студентов по специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка для осуществления творческой деятельности в области сочинения и аранжировки музыкальных композиций. Учебная дисциплина «Музыкальная акустика» направлена на получение студентами знаний о физических и субъективных характеристиках музыкальных звуков и инструментов, составляющих большую группу первичных источников звука. Такие знания необходимы выпускникам для решения профессиональных задач звукорежиссуры, как в студиях, так и в концертных залах. В результате освоения содержания учебной дисциплины будущие специалисты смогут оценивать музыкально-акустические характеристики одиночных и групповых источников звука с целью оптимального отбора и размещения электроакустических средств передачи или записи музыки.

Учебная дисциплина «Музыкальная акустика» преподается в тесной взаимосвязи с такими профильными учебными дисциплинами специальности, как «Композиция», «Звуковысотные системы в компьютерной музыке», «Специализированное компьютерное обеспечение», «Виртуальные музыкальные инструменты», «Компьютерная аранжировка», «Аранжировка и переложение музыкальных произведений».

Учебная дисциплина «Музыкальная акустика» включает теоретические и практические занятия с преподавателем в аудитории (музыкальной студии), самостоятельную форму работы, а также получение будущими аранжировщиками, музыкантами-исполнителями и звукорежиссерами практических навыков вне рамок учебного процесса.

Цель учебной дисциплины – освоение студентами основ общей и музыкальной акустики, выработка навыков использования полученных знаний на практике и в творческой деятельности.

В задачи учебной дисциплины входит изучение:

основных физических закономерностей при восприятии звука;

способов звукообразования в классических и электроакустических инструментах;

физических и музыкальных характеристик инструментов;

явлений в области тембра;

основных характеристик звуковых волн;

закономерностей распространения, отражения, преломления звуковых волн в концертных залах и наблюдающимися здесь физическими эффектами;

психофизиологических особенностей восприятия звуковых колебаний человеком.

В результате изучения учебной дисциплины студенты должны

знать:

взаимосвязь параметров звучания инструментов и человеческого голоса в объективном и субъективном пространствах;

параметры тембральных звуков, способы управления тембром звука при его записи и передаче;

устройство, акустические и субъективные характеристики звучания всех типов музыкальных инструментов;

уметь:

работать со специальной литературой в области музыкального искусства и науки,

пользоваться профессиональными понятиями и терминологией;

иметь навыки:

профессионального специалиста в области общей и музыкальной акустики;

студийного звукорежиссера, умеющего руководить процессом записи музыкальных инструментов;

Освоение учебной дисциплины «Музыкальная акустика» обеспечивает формирование:

универсальной компетенции:

УК-6. Проявлять инициативу и адаптироваться к изменениям в профессиональной деятельности;

базовой профессиональной компетенции:

БПК-9. Использовать теоретические знания и практические навыки в области звукорежиссуры.

В соответствии с учебным планом специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка на изучение учебной дисциплины «Музыкальная акустика» отведено 190 академических часов: для очной (дневной) формы получения высшего образования 88 аудиторных часов (44 лекционных и 44 практических) и 102 часа самостоятельной работы студента, для заочной формы обучения – 20 аудиторных часов и 170 часов самостоятельной работы студента.

Текущая аттестация проводится в форме устного опроса и контроля выполнения практических заданий на аудиторных занятиях по темам, определяемым преподавателем.

Промежуточная форма контроля знаний студентов – зачет.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в предмет

Цель и задачи, содержание учебной дисциплины «Музыкальная акустика». Роль и практическая значимость учебной дисциплины в системе профессиональной подготовки специалиста высшей квалификации по специальности 6-05-0215-10 Компьютерная музыка. Взаимосвязь специальной учебной дисциплины с профильными дисциплинами учебного плана модуля «Основы звукорежиссуры»: «Приборы обработки звука», «Основы студийной звукорежиссуры», «Микширование и мастеринг фонограмм», «Основы концертной звукорежиссуры». Учебно-методическое обеспечение учебной дисциплины. Организация самостоятельной работы студентов.

РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ АКУСТИКИ

Тема 2. Природа звука

Звук и условия его возникновения. Линейные характеристики звуковых колебаний. Скорость звука. Звуковые волны. Фронт волны. Законы распространения звука в пространстве. Распределение звуковой энергии в пространстве. Отражение звуковых волн. Поглощение звука. Закон преломления звука. Дифракция звуковых волн. Акустический резонанс. Интерференция звуковых волн. Эффект Доплера.

Тема 3. Звук в замкнутом пространстве

Распространение звуковых волн в замкнутом пространстве. Понятие диффузности звукового поля. Время стандартной реверберации. Значение ранних отражений.

Тема 4. Основные свойства слуха человека

Физиология слуха человека. Восприятие звука по частоте. Восприятие звука по амплитуде. Кривые равной громкости. Динамический диапазон слуха человека. Последствия воздействия звука на слух. Восприятие фазовых характеристик звука. Восприятие звука по тембру. Понятие тембра. Понятие основного тона. Понятие обертонов. Понятие форманты. Особенности звучания мужских и женских голосов. Зависимость высоты звука от частоты основного тона. Зависимость высоты звука от частоты обертонов. Нелинейный характер слуха. Направленные свойства слуха. Эффект маскировки. Маскировка звука по уровню. Маскировка звука в частотной области. Эффект Хааса.

Тема 5. Локализация источников звука

Возможности человека по локализации источников звука. Особенности моноурального восприятия. Бинауральное слияние. Бинауральная локализация. Монофонические фонограммы. Двухканальные стереофонические фонограммы. Разрешающая способность двухканальной стереофонии. Судийная запись стереофонических фонограмм. Акустические параметры помещений.

РАЗДЕЛ 2. АКУСТИКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ

Тема 6. Классификация и акустические характеристики музыкальных инструментов

Система классификации музыкальных инструментов. Акустические характеристики музыкальных инструментов. Характер атаки и затухания звука. Частотный диапазон и спектр звука.

Тема 7. Акустические свойства музыкальных инструментов

Ударные инструменты. Тимпаны и литавры. Большой барабан. Тарелки. Малый барабан. Тамтам. Треугольник. Кастаньеты. Колокольчики. Колокола. Ксилофон. Маримба. Вибрафон. Большая ударная установка.

Клавишные инструменты. Челеста. Клавесин. Фортепиано.

Деревянные духовые инструменты. Флейта. Малая флейта. Альтовая флейта. Гобой. Английский рожок. Кларнет. Альтовый кларнет. Бас-кларнет. Саксофон. Фагот. Контрафагот.

Медные духовые инструменты. Корнет. Альт-корнет. Тенор. Баритон. Труба. Тромбон. Валторна. Туба. Фанфары.

Смычковые струнные инструменты. Скрипка. Альт. Виолончель. Контрабас.

Щипковые струнные инструменты. Арфа. Акустическая гитара.

Специфичные духовые инструменты. Орган. Баян. Аккордеон. Губная гармоника.

Электроакустические инструменты. Электрогитара. Бас-гитара.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА
для очной (дневной) формы получения высшего образования**

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Самостоятельная работа студентов	Формы контроля знаний
		Лекции	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в предмет	2						
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ АКУСТИКИ								
2	Природа звука	4					8	устный опрос
3	Звук в замкнутом пространстве	2					8	устный опрос
4	Основные свойства слуха человека	6					10	устный опрос
5	Локализация источников звука	4		4			10	устный опрос
РАЗДЕЛ 2. АКУСТИКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ								
6	Классификация и акустические характеристики музыкальных инструментов	2					16	устный опрос
7	Акустические свойства музыкальных инструментов	24		40			26	устный опрос, практическое задание
8	Промежуточная аттестация						24	зачет
ИТОГО:190		44		44			102	

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА
для заочной формы получения высшего образования

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Самостоятельная работа студентов	Формы контроля знаний
		Лекции	Семинарские занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в предмет	2						
РАЗДЕЛ 1. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ АКУСТИКИ								
2	Природа звука	2					18	устный опрос
3	Звук в замкнутом пространстве	2					18	
4	Основные свойства слуха человека	2					18	
5	Локализация источников звука	2					34	
РАЗДЕЛ 2. АКУСТИКА МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ								
6	Классификация и акустические характеристики музыкальных инструментов			10			28	устный опрос, практическое задание
7	Акустические свойства музыкальных инструментов						42	
8	Промежуточная аттестация						12	зачет
ИТОГО: 190		10		10			170	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Швец, С.И. Акустика для звукорежиссеров: [учеб. пособие для студентов вузов] / С. И. Швец. – М. : Аспект Пресс, 2008. – 820 с.
2. Севашко, А. В. Звукорежиссура и запись фонограмм [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А. В. Севашко. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 432 с.
3. Меерзон, Б. Я. Акустические основы звукорежиссуры : [учеб. пособие для студентов вузов] / Б. Я. Меерзон. – М. : Аспект Пресс, 2004. – 203 с.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Акустика : Справочник / под общ. ред. А. Сапожкова. – М. : Радио и связь, 1989. – 336 с.
2. Алдошина, И. А. Музыкальная акустика : [учеб. пособие для студентов вузов] / И. А. Алдошина, Р.Приттс. – М. : Композитор, 2006. – 719с.
3. Дворко, Н. И. Основы звукорежиссуры : творческий практикум / Н. И. Дворко, В. Г. Динов, С. Г. Шугаль, Ю. А. Кубицкий. – СПб. : СПбГУП, 2005. – 164 с.
4. Динов, В. Г. Звуковая картина. Записки о звукорежиссуре : учеб. пособие / В. Г. Динов. – изд. 3-е, стер. – СПб. [и др.] : Лань : Планета музыки, 2012. – 488 с.
5. Динов, В. Г. Палитра звукорежиссера / В. Г. Динов. – СПб. : Геликон Плюс, 2006. – 368 с.
6. Садкова, О. В. Словарь терминов музыкальной акустики и психоакустики [Электронный ресурс] : учеб. пособие / О. В. Садкова. – Н/Новгород : ННГК им. М.И. Глинки, 2012. – 164с.
7. Современная звукорежиссура : творчество, техника, образования : коллективная монография / науч. ред. : С. А. Осколков, А. В. Денисов, Е. А. Полехина. – СПб. : СПбГУП, 2013. – 48 с.

8. Щевьев, Ю. П. Основы физической акустики [Электронный ресурс]: учеб. пособие для вузов / Ю. П. Щевьев. – СПб. : Лань, 2021. – 364 с.

ПРИМЕРНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЗАЧЕТУ

Для прохождения промежуточной аттестации в форме зачета студенту предлагается подготовить:

1. конспекты учебного материала по темам учебной дисциплины;
2. тезаурус основных понятий музыкальной акустики;
3. практические задания на основе примеров звучания акустических и электроакустических музыкальных инструментов, как соло, так и в составе различных оркестров и ансамблей.

ТРЕБОВАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

№ п/п	Название раздела, темы	Кол-во часов на СРС д/з	Задание	Форма выполнения	Цель или задача СРС
1	Введение в предмет	2/4	Проработать справочную и научную литературу по теме	Изучение справочной и научной литературы, интернет-ресурсов	Усвоить и систематизировать основные теоретические понятия
2	Природа звука	10/20	Изучить научно-документальные фильмы по данной теме	Просмотр видеоматериалов	Усвоить, систематизировать знания по данной теме, уметь применять на практике
3	Звук в замкнутом пространстве	10/20	Познакомиться с фонограммами, предложенными преподавателем	Прослушивание фонограмм	Усвоить, систематизировать знания по данной теме, уметь применять на практике

4	Основные свойства слуха человека	12/20	Изучить научные и научно-документальные фильмы по данной теме	Просмотр видеоматериалов	Усвоить, систематизировать знания по данной теме, уметь применять на практике
5	Локализация источников звука	12/36	Проанализировать особенности акустики в различных концертных и театральных залах	Посещение концертов, мастер-классов	Усвоить, систематизировать знания по данной теме, уметь применять на практике
6	Классификация и акустические характеристики музыкальных инструментов	20/30	Проработать справочную и научную литературу по теме	Изучение справочной и научной литературы, интернет-ресурсов	Усвоить, систематизировать знания по данной теме, уметь применять на практике
7	Акустические свойства музыкальных инструментов	36/40	Анализ звучания акустических и электроакустических музыкальных инструментов	Анализ музыкального материала	Выполнить практические задания

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Самостоятельная работа студентов в рамках учебной дисциплины «Музыкальная акустика» включает в себя следующие формы:

- анализ музыкального материала,
- изучение справочной и научной литературы, интернет-ресурсов,
- прослушивание фонограмм,
- просмотр видеоматериалов,
- посещение концертов, мастер-классов,
- подготовка к зачету.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

устный опрос;

практическое задание.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ на 20__/20__ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры художественного творчества и продюсерства (протокол № _____ от «___» _____ 20__)

Заведующий кафедрой

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (ученая степень, ученое звание)

_____ (подпись)

_____ (И.О. Фамилия)

4.2. Литература

Основная

1. Швец, С. И. Акустика для звукорежиссеров : учеб. пособие для студентов вузов / С. И. Швец. – М. : Аспект Пресс, 2008. – 820 с.
2. Севашко, А. В. Звукорежиссура и запись фонограмм : учеб. пособие [Электронный ресурс] / А. В. Севашко. – М. : ДМК Пресс, 2015. – 432 с.
3. Меерзон, Б. Я. Акустические основы звукорежиссуры : учеб. пособие для студентов вузов / Б. Я. Меерзон. – М. : Аспект Пресс, 2004. – 203 с.

Дополнительная

1. Акустика : Справочник / под общ. ред. А. Сапожкова. – М. : Радио и связь, 1989. – 336 с.
2. Алдошина, И. А. Музыкальная акустика : учеб. пособие для студентов вузов / И. А. Алдошина, Р. Приттс. – М. : Композитор, 2006. – 719 с.
3. Дворко, Н. И. Основы звукорежиссуры : творческий практикум / Н. И. Дворко, В. Г. Динов, С. Г. Шугаль, Ю. А. Кубицкий. – СПб. : СПбГУП, 2005. – 164 с.
4. Динов, В. Г. Звуковая картина. Записки о звукорежиссуре : учеб. пособие / В. Г. Динов. – изд. 3-е, стер. – СПб. [и др.] : Лань : Планета музыки, 2012. – 488 с.
5. Динов, В. Г. Палитра звукорежиссера / В. Г. Динов. – СПб. : Геликон Плюс, 2006. – 368 с.
6. Садкова, О. В. Словарь терминов музыкальной акустики и психоакустики : учеб. пособие [Электронный ресурс] / О. В. Садкова. – Н/Новгород : ННГК им. М.И. Глинки, 2012. – 164 с.
7. Современная звукорежиссура : творчество, техника, образования : коллективная монография / науч. ред. : С. А. Осколков, А. В. Денисов, Е. А. Полехина. – СПб. : СПбГУП, 2013. – 48 с.
8. Щевьев, Ю. П. Основы физической акустики : учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс] / Ю. П. Щевьев. – СПб. : Лань, 2021. – 364 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	5
1.1. Содержание учебного материала.....	5
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	108
2.1. Практические задания.....	108
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	109
3.1. Темы для управляемой самостоятельной работы студентов.....	109
3.2. Формы и средства диагностики.....	109
3.3. Перечень вопросов к зачету.....	110
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	112
4.1. Учебная программа.....	112
4.2. Литература.....	127

Учебное электронное издание

Составитель
Попроцкий Александр Дмитриевич

МУЗЫКАЛЬНАЯ АКУСТИКА

*Электронный учебно-методический комплекс
для обучающихся специальности
6-05-0215-10 Компьютерная музыка*

[Электронный ресурс]

Редактор *И. П. Сергачева*
Технический редактор *Ю. В. Хадьков*

Подписано в печать 30.01.2026.
Гарнитура Times Roman. Объем 0,7 Мб

Частное учреждение образования
«Институт современных знаний имени А. М. Широкова»
Свидетельство о регистрации издателя №1/29 от 19.08.2013
220114, г. Минск, ул. Филимонова, 69.

ISBN 978-985-547-520-1



9 789855 475201