

ПРОБЛЕМА

идеальной записи и ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЗВУКА

В. Г. ЛУКАЧЕР

1. ТРЕБОВАНИЯ К ИДЕАЛЬНОМУ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЮ ЗВУКА

Каждый любитель, конструируя устройство для звукозаписи, безусловно стремится получить возможно лучшие результаты. Однако не все достаточно ясно представляют себе, какие требования можно предъявить к данному типу устройства и какие результаты следует считать хорошими.

Качественные требования к записи в идеале таковы, чтобы слуховое ощущение, получаемое слушателем в результате ее воспроизведения, было бы абсолютно тождественно ощущениям при слушании первоисточника звука.

Короче говоря, идеальное воспроизведение должно быть таково, чтобы при слушании копию нельзя было отличить от оригинала.

Считая, с некоторым, конечно, допущением, что свойства органов слуха в обоих случаях неизменны, задачу можно свести к получению тождественности физических характеристик первичного и вторичного звуковых полей, подразумевая под ними соответственно поле основного источника звука и поле воспроизведенное.

Однако поставленные требования при современном состоянии техники неосуществимы по причинам, изложенным ниже, да и сама жесткость этих требований не всегда оказывается необходимой.

Полный тракт цепи звукозаписи показан на рис. 1.

Схема эта в достаточной мере условна, так как звукозаписывающее устройство, усилитель, громкоговоритель и сама готовая запись находятся обычно в комнате, где она воспроизводится. Процессы записи и воспроизведения также разделены во времени. Нас, однако, эта схема будет интересовать только с точки зрения преобразования звуковых колебаний и идентичности физических характеристик звуковых полей в комнатах K и K' .

Итак, мотивируя невозможность идентичности этих характеристик, перечислим основные причины этого.

Первая причина — различные акустические условия первичного и вторичного помещений (K и K' — рис. 1), вторая — особенности слухового аппарата человека и источников звука, и третья, самая серьезная, — свойства записи. Остальные звенья тракта рис. 1 не создают особых трудностей. Современные лабораторные образцы усилителей, микрофонов и громкоговорителей могут обеспечить почти полную натуральность передачи, и трудности их осуществления создаются главным образом высокой стоимостью и сложностью подобных неискажающих устройств.

2. ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКИ ПОМЕЩЕНИЯ

Особенности акустики помещения сказываются в том, что первичное поле создается не только источником звука, но и звуковыми волнами, отражениями от стен, потолка и пр.

Эти отраженные звуковые волны придают в данном помещении каждому звуку своеобразную окраску. Считая остальные звенья тракта неискажающими, мы запишем звук со всеми отражениями данного помещения. Однако при воспроизведении, даже в том же помещении, где производилась запись, мы опять не избежим вторичного отражения звука, и вторичное звуковое поле уже не будет точно соответствовать первичному.

Если же воспроизведение производится в другом помещении, то присущие ему отражения звука внесут свою окраску, и воспроизведение окажется искаженным.

Недостаток этот не особенно существен, если запись производится из специальной студии, куда доступ слушателям ограничен и акустика которых подчинена требованиям получения лучших результатов не в самой студии (т. е. в первичном поле), а при воспроизведении записи.

При записи же в обычной комнате многочисленные отражения звука, называемые реверберацией, могут заметно ухудшить запись, и воспроизведение по сравнению с оригиналом будет заметно искажено.

3. БИНОУРАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ

Гораздо более существенны трудности получения идеальной записи, вытекающие из физических свойств нашего уха, способного воспринимать звуки в огромном диапазоне частот и мощностей и реагирующего на пространственное их расположение.

Начнем с последнего. Здесь нам придется столкнуться с так называемым биноуральным эффектом. Вследствие этого эффекта, определяемого наличием у человека двух ушей, несколько расставленных, создается возможность определить направление источника звука и отличить пространственный источник звука от точечного.

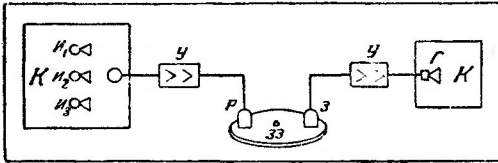


Рис. 1. Полный тракт записи и воспроизведения звука. К—помещение, в котором находится записываемый источник звука, И—источники звука, У—усилитель, ЗЗ—станок записи и воспроизведения, Р—рекордер, З—звукозаписыватель, Г—громкоговоритель

Поэтому, записывая, допустим, игру оркестра — пространственного источника звука, и воспроизведя эту запись одним громкоговорителем, мы, конечно, не можем получить полного впечатления игры оркестра, даже при условии отсутствия всех других искажений.

Весьма успешные опыты по получению объемной или, как ее называют, «стереоскопической» передачи были проделаны у нас в Союзе инж. Горюном и известным дирижером Леопольдом Стоковским в США.

Сущность обоих опытов состояла в применении трехканальной широкополосной системы, при которой у оркестра, игра которого передается, устанавливаются три микрофона со своими усилителями, линиями и громкоговорителями. Схема подобного устройства показана на рис. 2.

Опыты эти были подробно описаны в журнале «РФ» и останавливаться мы на них не будем. Отметим только, что воспроизведение при такой системе мало отличается от оригинального исполнения.

Принципиально возможно, конечно, сделать и «объемную» запись, произведя ее также с трех микрофонов и тремя рекордерами на одну пластинку или на три механически соединенных пластинки.

Подобная запись (двухканальная), была произведена автором настоящей статьи. Результаты оказались весьма неплохими, но неоправдывающими, однако, в любительских условиях повышенных затрат на двухканальное устройство.

4. ЧАСТОТНЫЙ ДИАПАЗОН ИСТОЧНИКОВ ЗВУКА

Получение идеальной записи затрудняется также большим частотным диапазоном источников звука.

В результате многочисленных экспериментов можно считать установленным с достаточной точностью, что нижняя граница частотного диапазо-

на, воспринимаемая человеческим ухом, лежит в пределах 20—80 пер/сек, а верхняя — в пределах 16 000—18 000 пер/сек. Это находит себе объяснение при рассмотрении строения и работы человеческого слухового аппарата, нерв которого не реагирует на медленно изменяющееся давление окружающей его жидкости при весьма низких частотах, а инертность частей наружного и среднего уха не передает во внутреннее ухо колебаний высоких частот¹.

Примерно в тот же диапазон укладываются частоты, содержащиеся в звуках музыкальных инструментов, речи и характерных шумов, от наиболее низких тонов субконтрабаса органа и до наиболее высоких обертонов, содержащихся в звуках скрипки и спектрах некоторых шумов.

К сожалению, техника сегодняшнего дня не располагает возможностями передать электрическим путем, а тем более — записать подобную полосу частот, и поэтому получение идеальной записи пока невозможно. Однако, как показали исследования, произведенные Сноу в лаборатории Бэлла (США), в сложном комплексе звуков, который представляет собою речь, музыка и шум, ухо не ощущает заметного изменения в качестве воспроизведения при сужении частотного диапазона за счет наиболее высоких и низких частот.

Явление это было замечено давно и ссылки на него имеются в работах различных авторов. Однако низкий уровень техники того времени не позволял построить радиовещательный тракт, пропускающий и воспроизводящий частоты, необходимость наличия которых надлежало проверить. Установленные в то время границы частотного диапазона скорее отражали субъективное мнение различных авторов, чем действительные, объективные величины.

Не касаясь подробно методики испытаний, проделанных Сноу, скажем только, что устройство, им примененное, допускало передачу без искажений полосы частот от 30 до 15 000 пер/сек и имело фильтры для уменьшения этой полосы. Была возможность срезания частот до 1 500 пер/сек с одной стороны диапазона и до 750 с другой.

Промежуточным положениям обоих фильтров соответствовали различные уменьшения полного частотного диапазона.

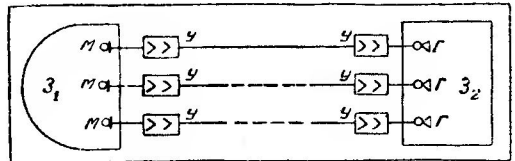


Рис. 2. Схема стереоскопической передачи. З₁—зал, в котором находится оркестр, И—микрофоны, У—усилители, Г—громкоговорители, З₂—зал воспроизведения

Перед тем, как перейти к изложению результатов испытаний Сноу, нужно ознакомить читателя с частотными свойствами музыкальных инструментов и человеческой речи.

Каждый звук состоит из основного тона и так называемых обертонов или гармоник. Именно

¹ См. Ржевкин. — «Слух и речь в свете современных физических исследований».

наличием обертонов объясняются особенности звучания различных инструментов. Один и тот же тон, допустим, в 500 пер/сек, иначе звучит на скрипке, нежели на контрабасе. Кроме обертонов, каждый звук сопровождается характерными для исполнения на данном инструменте шумами. Так, для смычковых инструментов это будет шум от трения смычка, в духовых — шум от продувания воздуха через клапаны, в ударных — шум от удара молоточков и т. д.

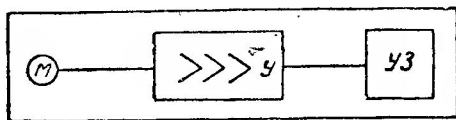


Рис. 3. Схема записи звука. М—микрофон, У—усилитель, УЗ—звукозаписывающее устройство

Эти характерные шумы, частота которых выше частот слышимых гармоник, придают звучанию каждого инструмента специфическую окраску.

Итак, для идеальной передачи исполнения какого-либо инструмента нужно передать основные его частоты, обертоны и характерные шумы.

Таблица 1

Частотные свойства музыкальных инструментов

Инструмент	Нижняя частота звука (пер/сек)	Верхняя частота звука (пер/сек)	Верхняя граница частоты характерных шумов (пер/сек)
Фортепиано	70	6 000	—
Деревянные духовые инструменты			
Фагот	60	7 000	12 000
Кларнет	150	10 000	15 000
Гобой	250	15 000	16 000
Флейта	250	9 000	15 000
Пикколо	500	9 000	15 000
Смычковые инструменты			
Контрабас	40	5 000	10 000
Виолончель	80	9 000	15 000
Скрипка	200	9 000	15 000
Медные духовые инструменты			
Бас	40	4 000	8 000
Тромбон	80	8 000	—
Валторна	90	6 000	8 000
Труба	150	9 000	—
Ударные инструменты			
Бас-барабан	50	1 500	6 000
Тимпан	50	2 500	5 000
Литавры	80	15 000	—
Тарелки большие	300	13 000	—
Треугольник	700	16 000	—

Если записать и передать только основные тона, срезав гармоники и шумы, музыкальное содержание записи не пострадает, но нельзя будет отличить, допустим, флейту от скрипки.

Выше приведена таблица с частотными свойствами наиболее распространенных инструментов. Здесь верхняя частота звука включает в себя и свойственные данному инструменту гармоники.

Предельная частота сопровождающего данный инструмент характерного шума приведена в отдельной графе табл. 1.

Сноу, искусственно сужавший частотный диапазон и демонстрировавший экспертам следующие непосредственно друг за другом исполнения музыкального отрывка с полной и с уменьшенной полосой, на основании статистической обработки полученных оценок составил особые кривые, дающие зависимость процентного качества воспроизведения от пропускаемой устройством полосы частот.

На основании произведенных испытаний можно считать, что для обеспечения идеального воспроизведения нужно воспроизводить полосу частот от 30 до 13 000—15 000 пер/сек. Для воспроизведения высокого качества нужно обеспечить полосу передаваемых частот от 50 до 8 000 пер/сек, для среднего качества — 100—4 000 пер/сек и для низкого 200—3 000 пер/сек. Эта классификация предложена Баллантайном — президентом Общества американских радиоинженеров и крупным специалистом в области радиовещания и электроакустики.

Ряд других, не менее видных специалистов — Дрейзен и Горон, у нас, Массе и Ольсон, в США, и сам Сноу считают, что расширение передаваемого диапазона свыше 80—8 000 пер/сек большинству слушателей не дает особо заметного улучшения качества воспроизведения.

Для идеального воспроизведения человеческой речи нужна несколько меньшая полоса частот. Основные частоты человеческого голоса охватывают всего около двух октав и обладают примерно следующими частотами:

Таблица 2

Бас	— 80	— 320 пер/сек.
Баритон	— 100	— 400 "
Тенор	— 130	— 480 "
Альт	— 160	— 600 "
Сопрано	— 250	— 1 200 "

Однако приведенные в таблице верхние пограничные полосы частот недостаточны для удовлетворительной передачи речи.

Дело в том, что, как нетрудно убедиться каждому, можно одним и тем же тоном произнести звуки «а», «о», «у» и все прочие гласные звуки. Это объясняется тем, что каждый звук, кроме основного тона, также имеет гармоники, называемые формантами.

Эти гармоники и создают тембр голоса, а характер звучания отдельных фонетических элементов зависит от выделения одной из этих гармоник.

Произнося букву «о» или другую гласную, мы настраиваем полость рта так, что она, резонируя, выделяет частоты, соответствующие звучанию данной буквы.

Полосы частот, занимаемые формантами основных гласных букв, приведены в табл. 3.

Очевидно, чтобы с достаточной ясностью воспроизвести звук «и», необходимо иметь частотный диапазон с верхней границей не ниже 2 500 пер/сек.

Отметим кстати, что гласными звуками называются такие звуки, которые произносятся с помощью голосовых связок и открытым ртом.

Сонорные согласные, также произносимые с помощью голосовых связок, имеют еще более высокие форманты.

Тут, как видно из табл. 4, верхняя граница частотного диапазона должна быть расширена до 3 000 пер/сек.

Таблица 3

Гласные звуки	Ф о р м а н т ы	
	протяжных звуков	коротких звуков
А	800—1 200 пер/сек	700—1 700 пер/сек
О	500— 850 "	700—1 100 "
У	400— 800 "	450—1 000 "
Е	550—2 100 "	600—1 800 "
И	400—2 500 "	450—2 300 "

Таблица 4

Сонорные согласные	Ф о р м а н т ы		
	500—700 пер/сек	1 000—1 300 пер/сек	1 800—2 400 пер/сек
Н	250—350 "	2 000—3 000 "	—
Л	200—250 "	500—600 "	1 400—2 000 "
М	230—300 "	500—600 "	1 100—1 500 "

Наиболее сложно обстоит дело с шипящими и свистящими звуками. Их форманты имеют высокие частоты, приведенные в табл. 5.

Эта таблица показывает, что для полного воспроизведения речи необходим уже довольно широкий частотный диапазон с верхней границей в

Таблица 5

Ш	4 600 пер/сек
Ч	4 800 "
Ж	5 200 "
З	7 000 "
С	8 000 "

8 000 пер/сек. Между прочим некоторые исследователи находили в звуке составляющие с частотой до 12 000 пер/сек.

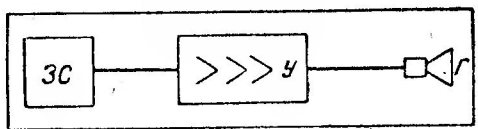


Рис. 4. Схема воспроизведения записи. ЗС—звукозаписыватель (адаптер), У—усилитель, Г—громкоговоритель

Следует напомнить, что частотный диапазон с верхней границей в 8 000 пер/сек необходим для идеального воспроизведения речи. Между тем в ряде случаев для записи и воспроизведения достаточно лишь полная понятность воспроизводимого текста. Понятность речи носит название артикуляции. Опыт показывает, что для сохранения понятности речи, при известном искажении тембра голоса, достаточно полоса от 200 до 3 000 пер/сек. Коммерческий проволочный телефон про-

Таблица 6

Качество записи	Частотный диапазон	
	речь	музыка
Высокое .	50—6 000 пер/сек	50—8 000 пер/сек
Хорошее .	100—4 000 "	80—5 000 "
Среднее .	150—3 000 "	100—1 000 "
Ниже среднего .	200—2 500 "	200—3 000 "

пускает часто еще меньшую полосу частот, но разборчивость все же сохраняется.

Можно считать, что при наличии полосы в 100—5 000 пер/сек воспроизведение речи можно будет отличить от оригинала лишь при непосредственном сравнении.

При всех рассуждениях о необходимой полосе частот мы исходили из потребностей и качества воспроизведения, как конечного результата звукозаписи.

Однако, согласно схемы рис. 3, запись звука является одним из звеньев тракта, который должен пропустить заданную полосу частот. Вообще говоря, требования к каждому звену выше, чем ко всему тракту, но в данном случае, считая, что все прочие звенья не вносят особых искажений, а, наоборот, даже несколько исправляют искажения, внесенные звукозаписью, частотные требования к ней могут быть представлены табл. 6.

Таковы частотные требования к полному тракту записи и воспроизведению звука.

В следующей статье мы разберем, в какой мере эти требования могут быть удовлетворены существующими устройствами для записи и воспроизведения звука.