

Содержание

Предисловие	13
Глава 1. Звук — от зарождения к восприятию	17
Откуда появляется звук?	18
Понятие акустики	19
Геометрическая акустика	20
Плоская волна	20
Сферическая волна	21
Волновые характеристики реальных излучателей звука	21
Влияние среды распространения на характер волн	22
Фазовые характеристики волн	22
Кое-что из теории нелинейной акустики	23
Отличительные характеристики звуковых волн	23
Глава 2. Громкость и динамика звука	25
Понятие звукового давления	26
Понятие интенсивности звука	26
Электрические аналоги понятий давления и интенсивности	26
Минимально заметная разница громкостей	27
Логарифмический характер шкалы ощущений человека	27
Нерукотворный памятник Беллу	27
Проверка выбора десятичного основания для логарифма слухового ощущения	30
Психоакустическая модель ощущения громкости	30
Еще одно понятие, относящееся к громкости, — сон	33
Глава 3. Основы теории о высоте звука	35
Инфранизкочастотный диапазон	36
Ультразвуковой диапазон	37
Юмор — это чувство дистанции (Б. Брехт)	37
Диапазон слышимого звука. Чистый тон	38
Многотоновые звуки, понятие частотного спектра	38
Частотные интервалы в теории передачи сигналов	40

Глава 4. Психоакустическая оценка тембра и высоты звука	41
Понятие тембра	43
Понятие основного тона	44
Понятие обертонов	44
Понятие форманты	44
Возможности коррекции тембра корректорами АЧХ	46
Зависимость высоты звука от частоты основного тона	47
Зависимость высоты звука от частоты обертонов	47
Зависимость высоты звука от характеристик, не связанных с частотой	47
Оценка высоты тона созвучий	48
Частный случай — два тональных звука с обертонами	48
Зонная теория	48
Что такое цент	49
Нелинейный характер слуха. Субъективные тона	49
Биения	50
Глава 5. Музыкальные стандарты высоты звука, или «Небольшое отступление для технарей, подзабывших теорию музыки»	51
История создания нотного ряда	52
Пифагорово решение проблемы транспонирования	53
Пифагорова комма или «волчья квинта»	54
Чистый строй	55
Равномерная темперация — модель Веркмейстера	55
Сравнение музыкальных строев	58
Последовательные и одновременные сочетания звуков	59
Понятие гармонического и мелодического интервалов	60
Аккорды	61
Аккордовые и неаккордовые звуки	62
Другие музыкальные строи	62
Масштаб частоты в электроакустических измерениях	62
Глава 6. Архитектурная акустика	63
Что происходит со звуковыми волнами в замкнутом пространстве?	65
Исследование реакции на акустический импульс	65
Понятие диффузности звукового поля	69
Время стандартной реверберации	69
Значение ранних отражений	71
Необходимость применения законов нелинейной акустики	71

Глава 7. Защита от акустических шумов	73
Линеаризация АЧХ реверберации	74
Допустимый уровень шума	74
Источники возникновения шумов	75
Методы борьбы с шумами	76
Борьба с шумами воздушного происхождения	76
Борьба с шумами ударного происхождения	78
Глушение шумов в системе вентиляции	79
Борьба с низкочастотными шумами электрического происхождения	80
Глава 8. Моделирование акустики	81
Глава 9. Радиус гулкости и акустическое отношение	93
Понятие акустического отношения	94
Практическое применение АО	95
Введение понятия ОРНГ	95
Показательный пример использования ОРНГ	98
Зависимость ОРНГ от частоты	100
Глава 10. Критерии качества фонограмм	101
Глава 11. Теоретические основы стереофонии, или «Объемное звучание — парадоксы без мистики»	107
Отличие «живого» звука от воспроизведенного электроакустическим трактом	108
Возможности человека по локализации источников звука	108
Деление психоакустической теории на моноуральную и бинауральную	109
Особенности моноурального восприятия	110
Бинауральное слияние	110
Бинауральная локализация	111
Монофонические фонограммы	115
Двухканальные стереофонические фонограммы	116
Разрешающая способность двухканальной стереофонии	116
Ухудшение локализации в условиях реальной студийной записи	118
Ухудшение локализации в условиях домашнего прослушивания стереофонических фонограмм	119
Выводы о реальной разрешающей способности стереофонии на современном этапе создания и воспроизведения фонограмм	122
Курьезы	124

Глава 12. Методика установки колонок для прослушивания стереофонических фонограмм	125
Глава 13. Практические опыты стереофонической записи	133
Особенности монофонической записи	134
Интенсивностная стереофония с использованием пары совмещенных и регулируемых по направлению микрофонов	135
Интенсивностно-фазовая стереофония с использованием пары разнесенных микрофонов	138
Сравнение интенсивностной и интенсивностно-фазовой стереофонии	138
Перспективная технология стереозаписи со странным названием — «Искусственная голова»	140
Необходимость полимикрофонной технологии стереозаписи	141
Необходимость линейности фазовой характеристики звукозаписывающего тракта	142
Балансирование стереокартины	143
Глава 14. Вариант «фотографической» технологии полимикрофонной стереозаписи	145
Изображение расстояния до виртуальных источников звука	147
Задание параметров угловой локализации виртуальных источников звука	147
Технология «фотографической» стереозаписи	148
Усовершенствование метода фотографической записи при невозможности исключения взаимопроникновения сигналов	154
Глава 15. Трех- и более канальная стереофония	159
Особенности терминологии	160
Разрешающая способность стереофонии	160
Развитие системы двухканальной стереофонии	160
Типичный пример озвучивания современного американского кинофильма	162
Задачи, решаемые системами Surround Sound	163
Максимальная формула Surround Sound 10.1	164
Ограничение формулы 10.1 до 5.1	167
Особенности технической реализации Surround-систем	167
Технологии объемного звука в домашних кинотеатрах	172
Перспективные форматы записи и воспроизведения объемного звука	173
Доступна ли для «рядовой» студии запись в формате Surround 5.1?	175

Глава 16. Акустика инструментов, рождающих музыку	179
Определение музыкального инструмента	180
Классификации музыкальных инструментов	180
Трехгрупповая система классификации музыкальных инструментов	180
Система классификации музыкальных инструментов Хорнбостеля—Закса	181
Развитие конструкций инструментов в отсутствие геометрической теории	182
Акустические характеристики музыкальных инструментов	183
Характер атаки и затухания звука	183
Частотный диапазон и спектр звука	185
Тембр — обертоны и форманты	185
Стабильность основных тонов и формант	185
Особенности настройки инструментов	186
Переходные тона	186
Случаи отсутствия основного тона	186
Громкость излучения и динамический диапазон	186
Глава 17. Ударные инструменты	189
Тимпаны или литавры	190
Большой барабан	194
Тарелки	196
Малый барабан	197
Тамтам	198
Треугольник	199
Кастаньеты	200
Колокольчики	200
Колокола	201
Ксилофон	202
Маримба	203
Вибрафон	204
Бубен	204
Изучаем «Самоучитель игры на бубне»	204
Большая ударная установка	205
Подготовка к студийной записи ударной установки	207
Особенности настройки барабанов	207
Технология настройки двухсторонних барабанов «в унисон»	209
Технология настройки двухсторонних барабанов на фиксированный интервал	210

Студийная запись ударной установки	211
Выбор типов микрофонов, наиболее подходящих для записи ударной установки	213
Глава 18. Челеста	215
Глава 19. Клавесин	217
Глава 20. Фортепиано	221
История создания и конструкция	222
Особенности акустики рояля	224
Соотношение акустики инструмента и акустики помещения	225
Стереофонический образ инструмента	227
Проблемы ухода за инструментом	228
Глава 21. Духовые инструменты	231
Основы звукоизвлечения	232
Сравнение со струной	232
Возбуждение колебаний	233
Настройка акустического резонансного усилителя на заданную частоту	234
Условное деление на деревянные и медные	235
Флейта	236
Большая флейта	237
Малая флейта	238
Альтовая флейта	238
Особенности записи флейты	238
Гобой	239
Английский рожок	240
Кларнет	241
Малый кларнет	242
Альтовый кларнет (бассетгорн)	243
Бас-кларнет	243
Особенности записи кларнетов	243
Саксофон	244
Фагот	245
Контрафагот	247
Запись деревянных духовых инструментов	248
Медные духовые инструменты	249
Корнет	249
Альт-корнет	249

Тенор	250
Баритон	250
Труба	250
Тромбон	252
Валторна	253
Туба	255
Фанфара	256
Особенности записи медных духовых инструментов	256
Электрифицированное будущее?	257
Глава 22. Орган	259
Глава 23. Баян, аккордеон, губная гармоника	267
Баян	268
Аккордеон	271
Губная гармоника	271
Глава 24. Скрипка, альт, виолончель	273
Скрипка	274
Альт	277
Виолончель	279
Глава 25. Контрабас	281
Глава 26. Акустическая гитара	285
Конструкция и акустика инструмента	286
Типы гитар	289
Особенности записи акустической гитары	290
Глава 27. Электрогитара	295
Глава 28. Бас-гитара	301
Глава 29. Арфа	305
Глава 30. Ограниченные по составу коллективы исполнителей	309
Камерные составы	311
Запись хоровых произведений	312
Запись современной электронной музыки	314
Запись ансамблей, исполняющих современную акустическую музыку	315
Запись джаз-бэндов	316

Глава 31. Оркестры	319
История оркестра	320
Симфонический оркестр	320
Почему большой оркестр получил название симфонического?	321
Как сочетаются в симфоническом оркестре отдельные инструменты и группы?	322
Струнная группа	323
Группа деревянных духовых инструментов	323
Группа медных духовых инструментов	324
Группа ударных инструментов	325
Группа инструментов, не вошедших в другие группы	326
Стерефонический образ симфонического оркестра	327
Запись симфонического оркестра с солистами	327
Запись симфонического оркестра и хора	328
Другие виды оркестров	329
Глава 32. Лампа или полупроводник — стоит ли игра свеч?	331
О минусах транзисторов	332
О плюсах транзисторов	333
О минусах ламп	333
О плюсах ламп	334
Глава 33. Микрофоны	337
Конденсаторные микрофоны с внешним источником напряжения для поляризации обкладок	339
Электретные микрофоны	342
Пьезоэлектрические микрофоны	342
Динамические микрофоны	343
Радиомикрофоны	343
RZM-приемники звука	344
Характеристики приемников звука	346
Проблемы, возникающие в процессе эксплуатации приемников звука	348
Глава 34. Контрольные акустические агрегаты и головные стереотелефоны.	351
Характеристики динамиков и акустических колонок	352
Оценка переходных процессов	354
Проблемы соответствия рекламы и действительности	354
Проблемы с качеством	354
Искажения, возникающие в слуховой системе человека	355

Классификация акустических колонок	355
Особенности акустических агрегатов ближней зоны	356
Особенности акустических агрегатов дальней зоны	357
Необходимость фазирования	358
Подбор стереопары	358
Особенности подключения пассивных акустических колонок	359
Магнитное экранирование	359
Головные стереотелефоны	359
Особенности применения головных телефонов в студиях звукозаписи	360
Перспективы развития электроакустических систем	361
Технология NXT	361
Глава 35. Аналоговые магнитофоны	363
Принципы работы магнитофона	366
Технические характеристики современных магнитофонов	367
Достоинства и недостатки аналоговых магнитофонов	368
Многоканальная аналоговая запись	371
Будущее в прошлом?	371
Глава 36. Караул, оцифровывают!	373
Формат CD	374
Формат SACD	374
Формат DVD-Audio	376
Многоканальная запись и сведение в формате PCM — Pro Tools лидирует	376
Станция премастеринга и авторизации звука формата SACD	379
Необходимость применения DSP.	380
Устаревшие алгоритмы цифровой обработки звука	383
Влияние высоких частот на качество звуковоспроизведения	384
Сравнивать рано	385
Требования к трактам записи-обработки фонограмм форматов DVD-A и SACD	386
Глава 37. Звукорежиссер и индикаторы уровня — кто прав, кто виноват?	389
Для чего нужен визуальный контроль уровня сигнала?	390
Технологические проблемы	390
Аналоговая магнитная запись	390
Цифровые системы	391
Радиопередачи	391

Громкость	392
Характер звукового сигнала	393
Характеристики и типы стандартизованных измерителей	393
VU-meter	395
Квазипиковый ИУ	395
Peak Level Meter	396
Over	397
Градуировка шкалы: почему не в вольтах?	397
Глава 38. Можно ли научить профессии звукорежиссера?	399
Глава 39. Звукозапись в законе	407
Раздел 2. Авторское право	409
Закон Соединенных Штатов Америки Об Авторском Праве (версия 1976 г.)	410
Конвенция об охране интересов производителей фонограмм от незаконного воспроизводства их фонограмм от 29 октября 1971 г.	412
Раздел 3. Смежные права	416
Раздел 5. Защита авторских и смежных прав	418
Глава 40. Опасности профессии	419
Об ущербе, наносимом колебаниями в неслышимых диапазонах частот	420
Инфразвук	420
Ультразвук	421
О вреде громкого звука	421
Меры по защите слуха	423
Обеспечение электромагнитной безопасности при эксплуатации компьютерной техники	424
Заземление	425
Защита от статического электричества	427
Профилактика оборудования	429
Заключение	431

Предисловие

В 2005 г. исполнится 130 лет с момента изобретения акустоэлектрического преобразователя, получившего название «микрофон». Спустя два года аналогичный юбилей отпразднует технология консервации звука. Около полувека назад фонограмма шагнула в массы и постепенно проникла практически в каждый уголок цивилизованного общества. На сегодняшний день звуковоспроизведение является, пожалуй, самым широким и демократичным каналом передачи смысловой и эмоциональной информации. С другой стороны этого процесса — в части создания фонограмм — до недавнего времени складывалась совершенно иная картина. Запись звука оставалась уделом избранных.

И вот, наконец, свершилось! С появлением мультимедийных компьютеров любой и каждый получил возможность записывать собственные фонограммы, причем на достаточно высоком, почти профессиональном уровне. Хочешь — твори для себя и друзей. Достиг определенного исполнительского уровня — выставляй свои произведения на продажу. Овладел технологией сайтостроительства — публикуй нетленные творения в Сети или открывай свою собственную Интернет-радиостанцию. Кстати говоря, потоковое вещание в сети не такое уж дорогое удовольствие, да и наполнение программ «чужим» авторским продуктом вполне по карману среднестатистическому жителю СНГ. Перспективы стать «самому себе звукорежиссером» с прицелом войти в лигу профессионалов весьма заманчивые.

Первым барьером на пути к цели становится компьютер. Овладели Windows, простили Била Гейтса, пошли дальше. Споткнулись об интерфейс своего первого звукового редактора, как правило, англоязычного Sonic Foundry Sound Forge. Призвали на помощь книги, «хэлп», друзей — справились с проблемой. Всевозможные подключаемые эффекты и более сложные многодорожечные программы пошли проще, благо терминология уже знакома. Все, точка, технология стала управляемой. Первая фонограмма записана. Вроде бы все сделали правильно, — а не звучит. Точнее звучит, но совершенно не так, как хотелось бы.

Переходим ко второй фазе. Эврика — виновата техника! Изменили все доступные параметры в Properties и Preferences, оптимизировали операционную систему. Уверенности в своих силах прибавилось — интерфейс-то теперь знаком до мельчайших нюансов; а результат — тот же. И снова книги, журналы, друзья, Интернет. Реклама недоговаривает, FAQ и форумы отрезвляют... Сравнили свои финансовые возможности с перспективой экономической

отдачи, теперь уже более скромной, и приобрели новый программно-аппаратный комплекс. Придирчиво исследовали качество работы инструментов, в большой номенклатуре представленных на рабочем столе нового звукового редактора; без сожаления удалили все, что звучит с технической точки зрения неудовлетворительно. Пришло время оценить содеянное. В сравнении со старыми фонограммами нынешние звучат много привлекательнее: меньше шумов, искажений, появился мелодизм... Но все равно продукт остается откровенно любительским и недостойным публикации.

Этап третий — творческий. Приходит понимание, что ни одна, пусть даже самая современная и совершенная, технология не будет рисовать сама по себе. Леонардо да Винчи писал: «...те, кто влюбляются в практику без науки, подобны кормчим, выходящим в плавание без руля или компаса, ибо они никогда не могут быть уверены, куда идут. Практика всегда должна быть построена на хорошей теории... и без нее ничто не может быть сделано хорошо в случаях живописи». Любой художник должен иметь определенный багаж теоретических знаний, практических секретов и навыков. Существуют законы линейной перспективы, изображения объема, пропорций, субъективного восприятия цвета, баланса света и тени и много-много других постулатов, которые нужно учитывать и уметь воплощать в полотне. Ведь не зря же людей в беретах, в перепачканной краской одежде и с палитрами в руках многие годы обучают писать натюрморты, пейзажи, портреты, опираясь на талант, но не останавливаясь на одном лишь природном даре. Может быть, стоит провести параллель между написанием картин и записью фонограмм? Какие закономерности лежат в основе процесса восприятия звукового потока, откуда они берутся, с чем связаны, как их реализовать в непростых условиях ежедневной практики? Вопросы заданы — ищем ответы.

Пути поиска информации те же. Большинство изданий, посвященных фундаментальным исследованиям звуковых полей и особенностям психоакустического восприятия звука, перенасыщены формулами и анализами результатов узкоспециальных экспериментов. Материалы такого рода достаточно интересны сами по себе, но, к сожалению, имеют ограниченное утилитарное применение. Кое-что полезное для практической работы удастся почерпнуть из русско- и иноязычных специализированных журналов и их сетевых копий, но цельная картина так и не складывается.

И вот невероятная удача — Вы покупаете эту книгу! (Прим. редакции: это первая, но далеко не последняя удачная шутка автора.) На ее страницах автор предпринял попытку в доступной форме изложить научные представления о возникновении, распространении и восприятии акустических полей; выявить наиболее важные характеристики звуковых волн, влияющие на их смысловую и эмоциональную оценку; поделиться секретами эффективных приемов записи и воспроизведения фонограмм; оценить достоинства и недостатки основных элементов технологии звукозаписи. Много внимания уделено описанию особенностей акустики музыкальных инструментов,

определяющих как их собственный характер, так и индивидуальность исполнения музыкальных произведений. Заключительные главы посвящены ответам на некоторые вопросы, касающиеся профессиональной деятельности звукорежиссера — обучению, правам, охране труда.

Делающий первые шаги найдет в этой книге оригинальное изложение теории и практики звукорежиссерского ремесла. Более опытные работники микрофона и микшера смогут, как минимум, упорядочить свои знания, задуматься над какими-то проблемами, а может быть, и решить некоторые из них на пару с автором или оппонируя ему.

Книга написана специально для звукорежиссеров и звукоинженеров, но может быть интересна и полезна читателям самой широкой аудитории, интересующимся вопросами качественного звуковоспроизведения. В надежде скрасить академическое изложение материала, автор позволил себе лирические, патетические и юмористические отступления от основных тем.

The background of the slide features a close-up, slightly blurred image of a ruler and a pencil. The ruler is positioned diagonally, with its markings and numbers visible. A pencil is also visible, lying parallel to the ruler. The overall color palette is light and neutral, with shades of gray and white.

**Глава 1. Звук —
от зарождения к восприятию**

— Я так и знал, что ты пописываешь, — сказал Никитич, — у тебя и взгляд такой... Ты все больше никуда не смотришь...

Он прочитал мои писания, подергал плечом, провел рукой по крутым седым завиткам, прошелся по чердаку.

— Надо думать, — произнес он вразяжку, замолкая после каждого слова, — что в тебе есть искра божия...

Мы вышли на улицу. Старик остановился, с силой постучал палкой о тротуар и уставился на меня.

— Чего тебе не хватает?.. Молодость не беда, с годами пройдет... Тебе не хватает чувства природы.

Он показал мне палкой на дерево с красноватым стволом и низкой кроной.

— Это что за дерево?

Я не знал.

— Что растет на этом кусте?

Я и этого не знал. Мы шли с ним сквериком Александровского проспекта. Старик тыкал палкой во все деревья, он схватывал меня за плечо, когда пролетала птица, и заставлял слушать отдельные голоса.

— Какая это птица поет?

Я ничего не мог ответить. Названия деревьев и птиц, деление их на роды, куда летят птицы, с какой стороны восходит солнце, когда бывает сильнее роса — все это было мне неизвестно.

— И ты осмеливаешься писать?.. Человек, не живущий в природе, как живет в ней камень или животное, не напишет во всю свою жизнь двух стоящих строк... Твои пейзажи похожи на описание декораций. Черт меня побери, — о чем думали четырнадцать лет твои родители?...

Исаак Бабель. «Пробуждение»

И мы с вами, уважаемые читатели, начнем рассмотрение нашей темы — звукозаписи — с основы основ — природы звука.

Несмотря на то что главы, посвященные теории звука, написаны в соответствии с модным ныне направлением — в эстетике клиповой нарезки, объемом информации, изложенный здесь, достаточен (и необходим) для понимания практической части книги.

Откуда появляется звук?

Откуда появляется звук? Понятно, что из музыкальных инструментов, из динамиков и так далее. А все-таки, какова его изначальная природа? Попробуем разобраться.

Все сущее состоит из материи. Неотъемлемым атрибутом материи является движение. Отдельные тела совершают движения, обладающие той или иной степенью повторяемости. Движение с периодическим характером называется колебательным. В честь немецкого физика Генриха Герца частота периодического процесса, при котором за одну секунду происходит один цикл процесса, называется 1 Герц и обозначается 1 Гц. Если механическое тело находится в упругой среде, то его колебательные движения создают волны, распространяющиеся в этой среде. Когда частоты воздушных волн попадают в *диапазон* от 16 до 20 000 Гц, колебания воздуха воспринимаются барабанной перепонкой и возникает звук, который способен услышать человек.

Интересно, что определение *диапазон*, широко применяемое в качестве технического термина, имеет музыкальное происхождение. «Диапазон» происходит от греческого словосочетания *dia pason chordon* — через все струны.

Понятие акустики

Звук, как явление природы, начали изучать очень давно. Так, во времена Древней Греции в IV в. до н. э., когда теория музыки только зарождалась, Арихит Тарентский выдвинул революционную идею о звуке как колебании воздуха. К сожалению, он полагал, что высота звука зависит от скорости распространения волны, а не от его частоты. Важную роль в зарождении акустики сыграли работы Аристотеля (IV в. до н. э.) и Пифагора (VI в. до н. э.). В буквальном переводе с греческого *akustikos* — означает «слуховой». Технологическая революция XX в. расширила это понятие на весь диапазон частот — от 0 до $10^{12} \dots 10^{13}$ Гц. В этой книге нас интересует первоначальное значение слова акустика — учение о звуке как упругих колебаниях, слышимых человеческим ухом.

В настоящее время не существует единой теории, объясняющей все акустические процессы, происходящие в природе. Относительно независимо друг от друга развиваются ряд разделов акустики, среди которых: геометрический, нелинейный, статический, волновой, архитектурный, строительный, психофизиологический, музыкальный, электроакустический. Учитывая, что перед звукорежиссером-практиком не возникает необходимости решения всех научных противоречий, попытаемся извлечь из вышеперечисленных направлений некий достаточный минимум полезной информации.

В качестве основы для построения упрощенной акустической модели удобно выбрать геометрическую теорию, как наиболее простую и наглядную, которую, при необходимости, придется дополнять элементами из нелинейной теории.

Геометрическая акустика

Геометрический раздел основан на следующем предположении: звук распространяется в виде звуковых лучей, представляющих собой линии, вдоль которых движется звуковая энергия. Уравнения геометрической акустики по своей форме близки к уравнениям геометрической оптики, хорошо знакомым читателям еще из курса школьной физики. Для звуковых лучей справедливы те же законы отражения и преломления, что и для световых волн. Формулы линейной геометрии являются приближенными и тем точнее отражают реальность, чем меньше длина исследуемой звуковой волны. Если считать, что размеры помещений или препятствий на пути звука сравнимы или много больше длины волны звука, то возникает необходимость в учете таких явлений, как дифракция волн, которые линейная теория уже не описывает. В таких случаях приходится усложнять задачу и учитывать нелинейные члены уравнений.

В соответствии с геометрической теорией, звук распространяется в виде волн, подразделяемых на несколько типов. Каждому типу свойственны особые условия возникновения и распространения. К простейшим типам можно отнести плоские и сферические волны. Реальный процесс состоит из суммы различных волн, но рассматривать удобнее каждое слагаемое в отдельности.

Плоская волна

Плоскую волну могут создавать колебания плоской поверхности (рис. 1.1). Все лучи плоской волны перпендикулярны плоскости излучения и параллельны друг другу. При этом частицы среды распространения начинают

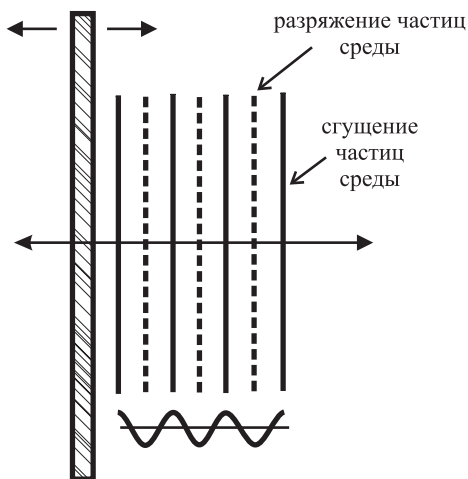


Рис. 1.1. Плоская волна

двигаться в одном направлении вдоль условного «коридора». Для идеальной плоской волны поперечное сечение «коридора» с расстоянием не изменяется. По этой причине энергия звука по мере движения уменьшается незначительно и только за счет молекулярных затуханий в вязкой среде. В природе абсолютно плоские волны встречаются крайне редко. Так, например, звуковую волну в трубе можно считать лишь приблизительно плоской, как и сферическую волну на большом расстоянии от источника.

Сферическая волна

Сферическую волну можно описать как движение волн от пульсирующей сферы (рис. 1.2). Источник, возбуждающий сферическую волну, условно считается точечным. В данном случае звуковые лучи расходятся во все стороны в направлениях, параллельных радиусам. По этой причине у сферической волны энергия звука, приходящаяся на единицу площади, по мере удаления от источника уменьшается. Изменение интенсивности обратно пропорционально расстоянию, а убывание звукового давления обратно пропорционально квадрату расстояния от источника.

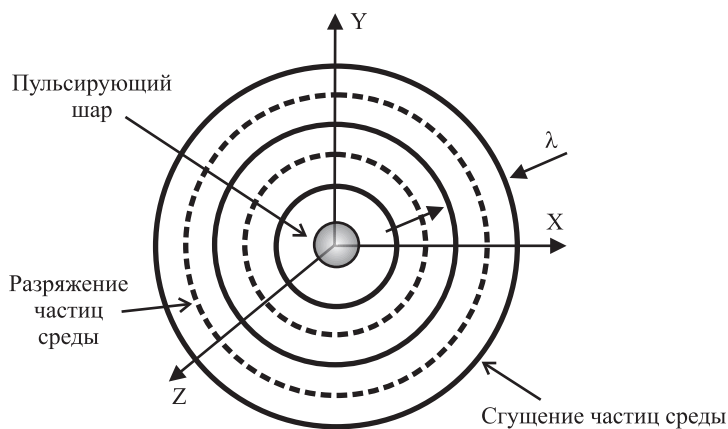


Рис. 1.2. Сферическая волна

Волновые характеристики реальных излучателей звука

Реальные источники звука излучают волны разных типов. В так называемой «ближней зоне» звуковые волны не успевают перемешиваться между собой. Поэтому характер звучания в непосредственной близости, например, от музыкального инструмента в значительной мере зависит от выбора точки прослушивания. С ростом расстояния от источника звука данный эффект смягчается и сходит на нет.

На практике чаще всего встречается диаграмма направленности излучения источника звука, которая по своей форме близка к полусфере. Полезно помнить, что в этом случае уровень звукового давления уменьшается на 6 дБ с каждым удвоением расстояния от источника.

Влияние среды распространения на характер волн

Характер распространения звуковых волн зависит также и от среды распространения. Такие экзотические задачи, как запись голосов дельфинов в воде, мы в этой книге рассматривать не будем. Остановимся на обычном воздухе.

Скорость распространения звуковых волн в атмосфере при обычных температуре и давлении близка к значению $C_{зв} = 340$ м/с. На основе скорости звука $C_{зв}$ и его частоты f можно определить длину волны λ , то есть расстояние в метрах или долях метра между соседними максимумами или минимумами амплитуды звука:

$$\lambda = \frac{C_{зв}}{f} = C_{зв} \times T, \quad (1.1)$$

где T — период волны.

На один абзац окунемся в другие среды. Скорость звука в воде в 4,5 раза выше, чем в воздухе. Еще быстрее звук движется по твердым телам. По стальным конструкциям звуковая волна распространяется в 60 раз быстрее, чем в воде. Это соответствует увеличению длины волны по сравнению с воздухом более чем в 270 раз.

Влияние среды распространения имеет различный характер для разных звуковых диапазонов. Так, звуки высоких частот поглощаются частицами среды гораздо сильнее, чем низкочастотные. Например, при нормальных давлении и температуре коэффициент поглощения на частоте 5 кГц в воздухе составляет около 3 дБ/км. Поскольку поглощение пропорционально квадрату частоты, коэффициент поглощения на частоте 20 кГц составит 48 дБ/км, или около 5 дБ на каждые 100 м пути.

Фазовые характеристики волн

При описании сложных волновых процессов приходится учитывать различия временных характеристик соседних звуковых волн, для чего вводится понятие *фазы* волны. Рассмотрим практические примеры. Если две одинаковые волны распространяются абсолютно синхронно, считается, что они

«находятся в фазе». Если одна волна запаздывает относительно другой, точно такой же по форме, на полпериода, в этом случае говорят, что волны «находятся в противофазе». Когда противофазные волны сходятся в одной точке, чисто теоретически можно было бы ожидать их полного взаимного уничтожения. Увы, в акустике, в отличие от электроники, это бывает крайне редко; чаще противофазные волны при наложении друг на друга сильно искажают тембр звука. Аналогичный, но менее выраженный эффект наблюдается при суммировании двух сходных звуковых волн с разницей фаз, большей либо меньшей половины периода.

Кое-что из теории нелинейной акустики

Как упоминалось выше, геометрическая теория не в состоянии описать звуковые поля в полной мере. В случаях, когда длины волн сравнимы по размерам с реальными объектами, необходимо применять законы нелинейной акустики.

Одним из основных нелинейных явлений является дифракция звука. Дифракция (от латинского *diffRACTUS* — разломанный) наблюдается при прохождении волн мимо края препятствия. Взаимодействие с препятствием вызывает отклонение волн от прямолинейного распространения. Из-за дифракции волны приобретают способность огибать препятствия, проникая в область геометрической тени. Этим явлением, например, объясняется возможность слышать голос человека, находящегося за углом дома. В некотором приближении явление дифракции объясняет принцип Гюйгенса-Френеля. Согласно этому принципу, каждую точку среды, которой достигла распространяющаяся волна, можно считать источником вторичных волн. Именно эти вторичные волны и могут проникать в зоны акустической тени, недоступные для первоначальных звуковых лучей. Наиболее отчетливо дифракция проявляется в тех случаях, когда размер огибаемых препятствий соизмерим с длиной волны.

Отличительные характеристики звуковых волн

Звуки различаются между собой:

- по динамике или силе звучания;
- по тембру;
- по высоте;
- по длительности.

В следующих главах попробуем рассмотреть эти характеристики подробнее.