

## Розділ 4 Звукообробна апаратура

### § 4.1 Історія створення засобів відтворення і запису звуку

Звук - це коливання повітря, що впливають на орган слуху людини. Вперше запис і відтворення звуку здійснив видатний американський винахідник сер Томас Алва Едісон (1847-1931) в 1877 р. Він винайшов фонограф - восковий валик, на якому голка фонографа при обертанні валика залишала звукову доріжку. Звукові коливання передавалися на голку від мембрани, що знаходиться в рупорі. Так здійснювався запис звуку. Для відтворення звуку використовувався той же валик, покритий шляхом електролізу металом. Голка фонографа, рухаючись по канавці, передавала коливальні рухи на мембрану і рупор. Так відтворювався звук. Цей спосіб запису звуку називається механічним. Надалі він був значно вдосконалений.

У 1888 р. була винайдена грамплатівка, і на зміну фонографу прийшов грамофон. Його винайшов німецький інженер Еміль Берлінер. Йому вдалося усунути такий недолік фонографа, як неможливість тиражування записів. Він відокремив запис звуку від відтворення і створив матрицю для штампування грамплатівок.

В цей же час французький інженер Шарль Кро запропонував портативний варіант грамофона - патефон. Його випускала в Парижі фірма «Паті» (звідси і назва - патефон).

До кінця XIX сторіччя почалося століття електрики, і у зв'язку з цим винахідники вели активні пошуки нових способів запису звуку. У 1888 р. знаменитий російський фізик А.Г. Столетов створив перший в світі фотоелемент. Це відкриття дозволило російському ученому А.Ф. Вікшемському розробити в 1889 р. апарат для оптичного запису звуку на світлочутливій стрічці. Суть винаходу - в перетворенні звукових коливань в електричних і потім - в змінні світлові. При освітленні таким модульованим світлом фотопаперу виходить фотографічна фонограма. Потім був знайдений спосіб відтворення звуку з фотографічної фонограми. Його запропонував в 1900 р. російський інженер І.Л. Поляків. У 1928 р. росіяни учені П.Г. Тагер і А.Ф. Шорін розробили фотографічний спосіб запису звуку на кіноплівці. Цей винахід сприяв створенню і розвитку звукового кіно.

Третій спосіб запису і відтворення звуку - магнітний. Його винайшов данський фізик В. Паульсен в 1898 р. Він запропонував записувати звук на сталевий дріт. Магнітний спосіб заснований на властивості феромагнітних матеріалів намагнічуватися під впливом магнітного поля і зберігати стан намагніченості при знятті магнітного поля.

У 1928 р. було запропоновано замість дроту використовувати паперову стрічку, на яку наносили порошок окислу заліза. Надалі папір замінили стрічкою з бавовняною або лавсановою основою. Така стрічка застосовується і в сучасних магнітофонах.

Четвертий спосіб запису і відтворення звуку заснований на лазерній технології, що реалізовує цифрову систему запису і відтворення звуку. Можливість створення лазера обгрунтували в 1958 р. американські фізики - лауреати Нобелівської премії Чарльз Таунс і Артур Шавлов.

Новий вигляд грамплатівки - оптичний компакт-диск для лазерного програвача з'явився в США в 1983 р. Спочатку це були диски для відтворення звуку (аудіодиски), а потім, через рік, з'явилися відеодиски нової конструкції, що вміщують 250 тис. сторінок тексту (що рівне об'єму 500 книг).

На початку 80-х років традиційні способи запису і відтворення звуку дістали можливість для подальшого розвитку у вигляді цифрового запису звуку, який реалізується на оптичних (лазерних) дисках або на ущільнених (магнітних) дисках.

## **§ 4.2 Принцип відтворення і запису звуку**

Звукові технічні засоби - комплекси апаратури, забезпечуючий запис і відтворення звуку. У цьому комплексі носіями інформації є грамплатівки, магнітофонні записи на касетах, магнітна стрічка, гнучкі магнітні диски, лазерні (оптичні) диски. Є ще міні-лазерні диски для плеєра і компакт-диски для диктофонів. Своєрідним засобом виступає радіо.

Грамплазапис (грамофонний запис) - механічний вид запису звуку на диску (пластинці) з синтетичних матеріалів

На пластинках були записані голоси великих людей, читання класичних творів відомими акторами, театральні постановки, документальні записи, голоси птахів і звірів, музика самих різних жанрів.

Магнітофонні записи - магнітний запис звуку на магнітну стрічку. Запис і відтворення здійснюються за допомогою магнітофона (диктофона). Залежно від дидактичного завдання магнітофонні записи вмонтовують в певній системі і відтворюють в процесі занять.

**Магнітні стрічки є аналогом звичайних музичних касет. Пристрій, що забезпечує роботу з магнітною стрічкою, називається стримером.** Стримери є стрічкопротяжним механізмом, аналогічним магнітофонному. Стример відноситься до пристроїв з послідовним доступом до інформації (треба відтворити весь запис, щоб дійти до потрібної) і характеризується набагато меншою швидкістю запису і прочитування інформації в порівнянні з дисководами.

Основне призначення стримерів - створення архівів даних, резервного копіювання, надійне зберігання даних.

Гнучкі магнітні диски, або флоппи-диски (floppy disk), є найбільш поширеними носіями інформації для відтворення на комп'ютері. Найбільш популярні гнучкі диски розміром 3,5" (дюйма).

Диск покривається зверху спеціальним магнітним шаром, який забезпечує зберігання даних. Інформація записується з двох сторін диска по доріжках, які є концентричними колами. Щільність запису даних залежить від щільності нанесення доріжок на поверхню, так званого числа доріжок на поверхні диска, а також від щільності запису інформації уздовж доріжки.

Дисковод для гнучких дисків відноситься до групи накопичувачів прямого доступу (коли потрібна інформація може бути відтворена відразу, як тільки в ній виникає необхідність) і встановлюється усередині системного блоку. Диск вставляють всередину дисководу, і при зверненні до нього відповідної програми головка запису/читання встановлюється на потрібне місце. Один двигун дисководу забезпечує обертання диска усередині захисного конверта. Чим вище швидкість обертання, тим швидше прочитується інформація, а значить, збільшується швидкість обміну інформацією. Другий двигун

переміщає головки запису/читання по поверхні диска і визначає іншу характеристику зовнішньої пам'яті - час доступу до інформації.

Правила роботи з дисками рекомендують не доторкатися до поверхні диска руками, не тримати диск поблизу сильного магнітного поля, не піддавати його нагріванню. Краще всього зробити його копію на випадок виходу диска з ладу.

Лазерні, або оптичні, диски зовні нагадують звичайний музичний компакт-диск. Завдяки незначним розмірам і великому об'єму інформації, що зберігається, надійності і довговічності лазерні диски стали популярними носіями інформації.

Зазвичай комп'ютери і сучасні аудіосистеми оснащуються дисководами, які мають джерело слабкого лазерного променя, здатного тільки прочитувати інформацію з лазерного диска, але не змінювати її. Тому такі дисководи називають дисководами тільки для читання, що є перекладом англійського терміну Compact Disk Read Only Memory, або скорочено: CD-ROM.

Лазерний диск, інформація якого може бути змінена, називається CD-RW (Rewritable). Інформація на перезаписуваних компакт-дисках може бути змінена за допомогою спеціального дисковода, оптична система якого має джерело могутнього лазерного променя.

Цифрова технологія міні-дисків забезпечує чудову якість звуку у поєднанні з тими, що надаються користувачеві кращими можливостями для запису. Ув'язнений в квадратну жорстку оболонку з розміром сторони 64 мм MD є самим універсальним носієм цифрового звукозапису. Можна до мільйона разів записувати звук, стирати, перезаписувати і вмонтовувати записи без втрати якості звучання. Один міні-диск забезпечує 74 мін високоякісного звучання при відтворенні. Останнім часом знаходить застосування новий вигляд носіїв інформації: магнітооптичні диски і диски Бернуллі, використовувані для збереження накопиченої інформації. Диски мають велику ємкість і високу швидкість доступу до інформації. Перспективними розробками в області носіїв інформації є створення носіїв на основі голографії. При стандартних розмірах носіїв 3,5 і 5,25 дюйма об'єм інформації розширюється до сотень Мб і навіть декілька Гб.

### § 4.3 Компакт-диски: технології і стандарти

За відносно недовгу історію обчислювальної техніки змінилися немало видів носіїв, на яких інформація може зберігатися невизначено довгий час: паперові перфокарти і перфострічки, магнітні стрічки, барабани, гнучкі і жорсткі диски різних розмірів і ємкості і, нарешті, магнітооптичні і оптичні диски. В запасі у виробників високотехнологічних аксесуарів для комп'ютерів сьогодні напевно є немало перспективних ідей в цій області, але поки все великої популярності набувають магнітооптичні і оптичні диски. У даній статті мова піде тільки про оптичні диски, що з'явилися досить давно, але що постійно удосконалюються і упевнено знаходять все велику популярність.

Поширеніша назва оптичних дисків — "компакт-диск" або CD-ROM (коротко — CD).

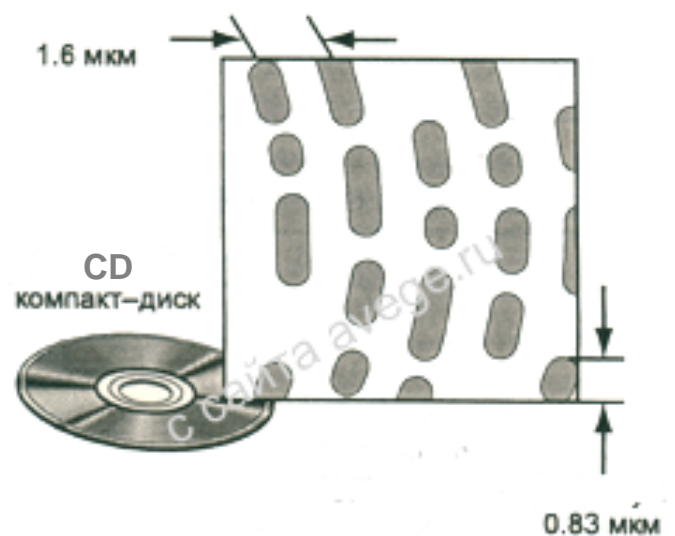
CD здатний зберігати в невеликому фізичному об'ємі величезну кількість інформації. Важлива можливість багатократного прочитування записаних даних без зносу носія, пов'язана з відсутністю якого-небудь механічного контакту пристрою, що читає, з поверхнею, що несе інформацію. До цього слід додати відносно невисоку вартість самих дисків і пристроїв, необхідних для роботи з ними. Ці достоїнства не можуть не привертати всіх, кому доводиться зберігати величезні об'єми даних з мінімальним ризиком їх втрати. А таких стає все більше. Скрізь, де є комп'ютери, обов'язково знайдуться могутні програми, архіви і бази даних, зображення і звуки, перетворені в цифрову форму. Все це зручно зберігати на CD. Сучасний CD — пластиковий диск діаметром близько 120 і завтовшки приблизно 1 мм, що має в центрі отвір діаметром 15 мм. Навколо отвору є область шириною близько 10 мм для затиску в шпинделі, що обертає диск. Одна сторона CD, як правило, красиво оформлена і забезпечена короткою інформацією про зміст записів. Інша — блищить і переливається всіма барвами веселки. На ній навколо затискної області є ще одне візуально помітне кільце, на якому відштампований серійний номер в штриховому або іншому коді, часто зрозумілому тільки виготівникові диска. Далі знаходиться область даних, яка і дає веселковий ефект при розгляді у відбитому світлі. Із зовнішнього краю CD має прозоре захисне кільце невеликої ширини.

Найбільш поширені CD мають структуру, показану на мал.2.



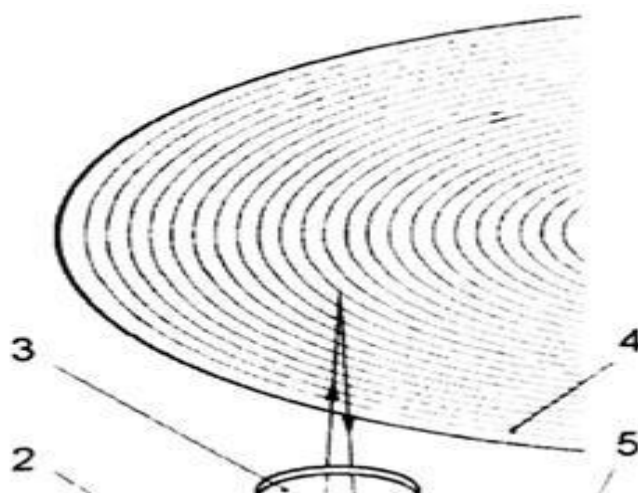
Мал. 2

На основу 1 з акрилового пластика нанесений якнайтонший шар, що відображає, 2 з алюмінію. Метал покритий прозорою захисною полікарбонатної плівкою 3. Дані прочитує лазерний промінь 4. Звичайний процес виготовлення CD складається з декількох етапів: підготовки даних до запису, виготовлення мастер-диска (оригіналу) і матриць (негативів мастер-диска), тиражування CD.



Інформація наноситься на гладку поверхню алюмінієвого мастер-диска лазерним променем, який, змінюючи структуру металу (простіше кажучи, випалюючи його), створює на ній мікроскопічні западини. Чергування западин, що по-різному відображають світло, і плоских ділянок представляє дані в звичній для комп'ютерів двійковій формі. Відзначимо, що розміри сформованих лазерним променем западин дуже малі — на відрізок, довжина якого не перевищує товщини людського волоса, їх може розміститися декілька десятків.

Подальше нагадує виготовлення звичайних грамплатівок. Негативні копії мастер-диска служать матрицями для пресування западин, що несуть інформацію, на поверхні власне CD, які залишається покрити алюмінієм, нанести захисний шар і забезпечити потрібними написами. Варто відмітити, що існують і інші технології виробництва CD, зокрема перезаписуваних і дозаписуваних, про деяких з них буде розказано нижче. Під CD, вставленим в привід блискучою стороною вниз і закріпленим в шпинделі, що обертається, переміщається по радіусу за допомогою сервомотора прочитуючий пристрій (мал. 3).



### Мал. 3

Воно складається з напівпровідникового лазера 1, світлоділильної призми 2 з об'єктивом 3, що фокусує промінь на поверхні диска 4, і фотоприймача 5. Об'єktiv забезпечений приводами точного підстроювання положення світлвщи на інформаційній доріжці. Ясно, що для прочитування використовується лазер набагато меншої потужності, ніж той, яким випалювали западини на поверхні мастер-диска.

Відбитий алюмінієвою поверхнею промінь призма направляє на фотоприймач. Якщо він відбився від блискучого острівця між западинами, в ланцюзі фотоприймача з'являється електричний струм, наявність якого інтерпретується як логічна 1. Промінь, що потрапив в западину, переважно розсівається, в результаті освітленість фотоприймача і струм, що виробляється ним, зменшуються — фіксується логічний 0.

Чутлива поверхня фотоприймача розділена на чотири сектори. Це дозволяє керівникові приводом мікропроцесору визначити правильність позиціонування світлвщи. Якщо промінь відхилився від потрібного положення (а це, як правило, трапляється із-за погрішностей виготовлення CD і приводу), зміститься і створюване їм на поверхні фотоприймача пляма, в результаті його сектора будуть освітлені неоднаково. Порівнюючи струми, що виробляються кожним з елементів приймача, мікропроцесор формує команди, що коректують положення об'єктиву, а, отже, і світлвщи на поверхні шару, що відображає.

Як вже мовилося, дані записані на CD у вигляді послідовності западин і інтервалів між ними, створюючою одну фізичну інформаційну доріжку. Саме одну, на відміну від звичного способу запису на магнітні диски. Ця єдина доріжка є спіраллю, що починається у центру диска і розкручується до його краю. Цим CD трохи нагадує традиційну грамплатівку, відрізняючись від неї напрямом спіралі і безконтактним



способом прочитування даних. Доріжка починається із службової області, необхідної для синхронізації приводу: прочитуючий пристрій повинен "знати", коли чекати приходу кожного із записаних бітів інформації. Фізична доріжка може бути розділена на декілька логічних. Безперервний потік прочитуваних з CD бітів ділиться на восьмирозрядні байти, логічно об'єднані в сектори. Кожен сектор складається з 12 байт синхронізації, чотири байт заголовка, що містить номер сектора і зведення про тип запису в нім, 2048 байт основної області даних і 288 байт додаткової інформації.

Застосовується декілька типів секторів. Перший з них призначений тільки для цифрового звукозапису. Другий — основний для всіх CD. Його заголовок подовжений до 12 байт за рахунок області додаткової інформації. Частина цієї області, що залишилася, займають код виявлення помилок прочитування даних (чотири байти) і дві коди, що дозволяють їх виправити: P-паритет (172 байт) і Q-паритет (104 байт). У секторах третього типу область додаткової інформації віддана в розпорядження користувача. Отже кожен з них може містити до 2336 байт даних, проте без можливості контролю правильності прочитування і корекції помилок. Кожна логічна доріжка складається з секторів тільки одного типу.

У перших секторах CD записаний його зміст (Volume Table of Contents, VTOC) — щось ніби таблиці розміщення файлів (FAT) на магнітних дисках. Взагалі, базовий формат CD згідно стандарту HSG (про нього див. нижчий) багато в чому нагадує формат дискети, на нульовій доріжці якої не тільки указуються її основні параметри (число доріжок, секторів і т. п.), але і зберігаються зведення про розміщення даних (директорій і файлів).

У системній області знаходяться директорії з покажчиками або адресами областей, де зберігаються дані. Істотна відмінність від дискети полягає в тому, що в кореневій директорії CD указуються прямі адреси файлів, що знаходяться в піддиректоріях, що істотно полегшує їх пошук.

Класична "одинарна" швидкість прочитування даних, з якою сьогодні працюють тільки програвачі аудіодисків, — 175 Кбайт/с або приблизно 75 секторів в секунду. Кожна логічна доріжка, що містить 300 секторів, відтворюється з цією швидкістю за 4 с. Весь CD, якщо він складається тільки з секторів другого типу, містить 663,5 Мбайт

даних. У комп'ютерах використовуються приводи CD, що забезпечують набагато більшу швидкість прочитування даних за рахунок збільшення частоти обертання шпінделя і відповідної зміни ряду інших технічних характеристик.

Музичні оптичні CD прийшли на зміну вініловим з механічним записом (грамплатівкам) в 1982 р., майже одночасно з появою перших персональних комп'ютерів фірми IBM. Це було результатом співпраці двох гігантів електронної промисловості — японської фірми Sony і голландської Philips.

Цікава історія вибору ємності CD. Виконавчий директор Sony Акіо Моріта вирішив, що нові вироби повинні відповідати вимогам любителів класичної музики. Після проведення опиту з'ясувалося, що найпопулярніший в Японії класичний твір — дев'ята симфонія Бетховена — звучить близько 73 мин. Мабуть, якби японці більше любили короткі симфонії Гайдна або опери Вагнера, що виконуються цілком за два вечори, розвиток CD міг піти по іншому шляху. Але факт залишається фактом. Було вирішено, що CD повинен бути розрахований на 74 мін і 33 секунди звучання.

Так народився стандарт, відомий як "Червона книга" (Red Book). Не всіх любителів музики задовольнила вибрана тривалість звучання, але в порівнянні з 45 мін недовговічних вінілових пластинок це був істотний крок вперед. Коли 74 мін музики перерахували в інформаційну ємність, вийшло близько 640 Мбайт.

Дві названі вище фірми зіграли провідну роль і в розробці першого стандарту цифрових CD — так званої "Жовтої книги" (Yellow Book). Створені на його основі диски, здатні зберігати, окрім звукових даних, також текстові і графічні, отримали назву CD-DA (CD-Digital Audio).

У заголовку CD-DA міститься інформація, що дозволяє визначити тип записаних даних. Стандарт, проте, не регламентував логічний і файловий формати запису. Їх вибір був повністю довірений фірмам-виробникам. В результаті відповідний вимогам "Жовтої книги" CD нерідко міг бути прочитаний пристроєм тільки тієї моделі, для якої він призначений. Таке положення, особливо у зв'язку з великим комерційним успіхом CD, зрозуміло, не могло задовольнити нікого. У загальних інтересах необхідно було терміново знайти компроміс. Другим стандартом "де-факто" для цифрових CD став HSG або просто

High Sierra. Відзначимо цікаву деталь: він названий ім'ям готелю і казино в одному з містечок Каліфорнії, де зібралися обговорити свої проблеми основні виробники CD. Цей документ носив рекомендаційний характер і був запропонований, щоб забезпечити хоч яку-небудь сумісність. У нім визначалися як логічний, так і файловий формати CD. На жаль, для книги із стандартом HSG відповідного кольору так і не знайшлося. Проте, він виявився настільки привабливим, що основні положення прийнятого декілька пізніше за міжнародний стандарт ISO 9660 співпали з HSG.

ISO 9660 описує файлову систему CD-ROM. Згідно стандарту першого рівня вона нагадує аналогічну систему MS DOS: імена файлів можуть містити до восьми символів і мати розширення з трьох символів, відокремлених крапкою. У іменах заборонені спеціальні символи (наприклад, "~", "-", "=", "+"), використовуються тільки прописні (заголовні) латинські букви, цифри і символ підкреслення. Кожен файл забезпечується номером версії, який відділяється від розширення символом ";". Імена каталогів не можуть мати розширень. Допускається вкладення до восьми каталогів.

Стандарт ISO 9660 другого рівня дозволяє давати файлам імена завдовжки до 32 символів, накладаючи на їх вибір описані вище обмеження. CD, створені за таким стандартом, непридатні для використання у ряді операційних систем, зокрема MS DOS.

Перш ніж продовжити розповідь про стандарти CD, розглянемо поняття сеансу запису. Більшість CD відносяться до односеансним (Single Session), оскільки всі дані записані на них за один технологічний цикл або сеанс запису. Проте після того, як були розроблені відповідні технології і спеціальні диски, з'явилася можливість виконувати додаткові сеанси запису, додаючи до що вже є нові порції даних. До багатосеансних (Multi-session) відносяться CD форматів Photo CD і CD-ROM XA (extended Architecture — розширена архітектура). Технологія Photo CD запропонована фірмою Eastman Kodak як засіб створення і проглядання цифрових фотографій. На спеціальний диск можна по черзі записати в цифровій формі зображення з будь-яких 35-міліметрових слайдів і негативів. Але для повного прочитування інформації необхідний PhotoCD-совместимый привід. Звичайний, відповідний стандартам HSG або ISO 9660, зможе прочитати тільки запис, зроблений в першому сеансі, оскільки в

VTOS, що знаходиться на початку інформаційної доріжки, є відомості тільки про неї.

Стандарт CD-ROM XA сумісний зверху з High Sierra і ISO 9660. Проте в нім закладено значно більше можливостей. По-перше, він вирішує багатосеансний запис. По-друге, можна зберігати на одному і тому ж диску графічні, текстові і звукові дані, причому графіка може включати як нерухомі картинки і анімацію, так і повноцінні кінофільми (full-motion).

Основна особливість CD-ROM XA — так зване чергування (Interleaving) блоків різнорідної інформації. Наприклад, за першим відеокадром може слідувати його звуковий супровід, після якого розташовується наступний кадр і так далі. Це сприяє синхронності відтворення звуку і зображення, істотно зменшує необхідний об'єм проміжного буфера, в порівнянні з потрібним при звичайному розташуванні даних на диску.

Інша особливість стандарту XA — стиснення звукових даних, що дозволяє записати на один диск аудіоінформацію тривалістю в декілька годинників (замість звичайних 74 мін). Хоча алгоритми стиснення самих різних даних активно застосовуються в багатьох галузях обчислювальної техніки, дана перевага CD-ROM XA поки використовується не дуже широко.

Чергова спроба фірм Sony і Philips вичерпно регламентувати не тільки логічний і файловий формати, але і вміст самих файлів на цифрових CD вилилася в стандарт, відомий під назвою "Зелена книга" (Green Book). Власне, це — розширена версія стандарту CD-ROM XA. Приводи, відповідні "Зеленій книзі", можуть читати диски форматів CD-DA, CD-ROM, CD-ROM XA, CD-InKodakPhotoCD. Вперше згаданий тут формат CD-I (Interactive — інтерактивний) заслуговує опису. Джерелами інтерактивної інформації для CD-I вважаються аудіо і відеопристрої реального часу з розширеними можливостями обробки текстів і графіки. Передбачається широке використання комп'ютерних програм для обробки всіх видів даних. Стосовно інформаційних і системних завдань у форматі CD-I визначаються можливі типи даних і способи їх кодування, організація необхідних засобів підтримки дискових систем. З технічної точки зору формат CD-I заснований на технології CD-ROM, але для споживача він близький до CD-DA. На одному диску можна об'єднувати

доріжки CD-DA і CD-I записів, застосовувати апаратуру декодування CD-DA в CD-I системах.

Дисками формату CD-і найчастіше користуються в сферах освіти (дистанційне навчання і самонавчання за допомогою довідників, альбомів, "розмовляючих" книг), розваг (музика з текстом, нотами, картинками, ігри), організації дозвілля (креслення і малювання, створення кінофільмів, анімація реального часу, твір віршів), туризму (карти, пристрої для навігації, інформація про визначні пам'ятки), діагностики захворювань і багато інших.

Останній із стандартів CD, що діють сьогодні, викладений в "Оранжевій книзі" (Orange Book). У його першій частині мова йде про магнітооптичних накопичувачах (CD-MO), допускаюче стирання і перезапис інформації. Друга частина присвячена накопичувачам типу WORM (Write Once Read Many — одноразовий запис, багаторазове прочитування) і CD-R (Recordable — записуваний). На ці пристрої дані можна тільки дописати. Стерти наявний запис неможливо. Практично всі приводи CD, що продаються зараз, відповідають вимогам другої частини "Оранжевої книги" — вони можуть читати CD всіх описаних форматів, зокрема дозаписувані.

Розглянуті стандарти відносяться до CD, придатним для використання на IBM-совместимых персональних комп'ютерах. Зрозуміло, існують і формати, призначені для інших систем, наприклад, Macintosh HFS для комп'ютерів фірми Apple Macintosh, але їх ми торкатися не будемо.

#### **§ 4.4 Історія кодування просторового звуку**

Для того, щоб зрозуміти закономірності в розвитку просторових систем звукопередачі і способах їх кодування, має сенс подивитися на історію їх розвитку.

Важливість сприйняття звукового простору була зрозуміла задовго до появи засобів запису звуку. Впродовж століть створювалися приміщення (храми, театри, концертні зали і ін.), де забезпечувалося «занурення» слухача в звуковий простір.

Мета сучасних засобів кодування звуку полягає в передачі деяких ознак сигналу, що дозволяють слухачеві відчувати просторове оточення. При цьому можна виділити дві тенденції: передача деяких фізичних параметрів первинного звукового поля і передача деяких психоакустичних характеристик, що викликають у слухача відчуття знаходження в первинному просторі.

Для всіх систем просторової передачі звуку характерні деякі загальні елементи: засоби для запису звуку (наприклад, різні типи мікрофонних систем); засоби для кодування початкових сигналів в деяку нову систему комбінованих сигналів; засоби для декодування на приймаючій стороні; засоби для відтворення звукових сигналів (через акустичні системи або стереотелефони). Принципова трудність полягає в тому, що в будь-якій системі тривимірне звукове поле необхідно записати і відтворити за допомогою точкових джерел, таких, як мікрофони і гучномовці. Правда, слухова система людини володіє здатністю відтворити тривимірний звуковий простір за допомогою двох точкових приймачів (двох вух) за рахунок спеціальних методів фільтрації і подальшої обробки.

Крім того, створювана технічна система просторової передачі звуку повинна бути економічно ефективною, такою, що практично реалізовується і стійкою до зміни положення слухача щодо системи.

Перший період - початок розвитку. Теоретичні основи просторових аудіосистем були закладені ще до 1800 року в працях великих учених Фарадея, Генрі, Ома, Гельмгольца і ін. У 1876 році великий винахідник Олександр Білий продемонстрував публіці свій винахід - телефон. Практично в цей же час аналогічну заявку подав інший винахідник Елайджа Грей. Цінність цих винаходів полягала перш за все в тому, що були відкриті принципи електроакустичного перетворення в обох напрямках, які склали основу для подальшого розвитку мікрофонів, телефонів, гучномовців і іншої апаратури. Вже через рік в 1877 році Томас Едісон демонстрував пристрій для запису і відтворення звуку (фонограф). У 1889 році він показав перші рухомі картини, використовуючи нову систему запису на 35-міліметрову плівку (у першому фільмі був знятий асистент Едісона - Фред Отт). Едісон збирався з'єднати зображення із звуком.

У 1894 році Гульєльмо Марконі продемонстрував безпроводну передачу звуку, тобто радіозв'язок (у нас-то всі знають, що першим це зробив А.С. Попів, але в Америці про це практично невідомо).

У 1898 році Вальдемар Паульсен отримав перший патент на пристрій магнітного запису звуку, використовуючи сталевий дріт як носій. Л. Гамонт вже в 1901 г почав експерименти по оптичному запису звуку на плівку. Після винаходу в 1906 році Чи вакуумної лампи-тріода де Форестом почалися роботи по використанню електричного посилення для передачі звуку і до 1930-м рокам технічна база для запису і передачі моноурального звуку була вже сформована.

Перші спроби передачі просторового звуку можна віднести до 1881 року, коли Клемент Адер встановив серію мікрофонів на сцені Паризької Опери і сигнали від них подав по проводах до головних телефонів в деякі кімнати найближчого готелю. Слухачі вперше могли чути просторовий звук - це був перший крок до бинауральної стереофонії. Ці експерименти не викликали великого інтересу, і лише в 1915 році з'явився патент Е. Амета, в якому пропонувалася система просторового звуковідтворення через декілька гучномовців, розташованих на сцені і в залі (для кіно). Запис був монофонічна, але пропонувався деякий спосіб панорамування звуку через ці гучномовці. До 1930-м рокам, коли була остаточно сформована технічна інфраструктура моносистем передачі звуку, в лабораторії Bell Labs (США) почалися інтенсивні роботи по вдосконаленню систем просторової передачі, матеріально і морально підтримані знаменитим диригентом Леопольдом Стоковським. У цей же період відбулася екстраординарна подія: 14 грудня 1931 року англійський винахідник Алан Блюмлайн отримав патент №394325, який містив більше 70 пунктів практично на всі елементи стереофонічної системи передачі звуку.

У ній було вказано:

- необхідна мікрофонна техніка, зокрема, використання для запису двох мікрофонів з характеристиками спрямованості у вигляді вісімки, розташованих в одному місці, тобто різновид сучасної системи XV, яка зараз називається системою Блюмлайна;
- система запису стереозвуку на різні сторони однієї доріжки на диску, розташовані під кутами 45 град (стереотехніка 45/45). Цей спосіб

запису ще кілька разів потім винаходився, поки не почав широко застосовуватися в промисловому виробництві;

- система стереорадіомовлення, зокрема використання АМ і ЧМ з тією, що однією несе для передачі двох звукових каналів;
- сумарно-різнищеве матрицювання для сумісності з моносистемою;
- додаткове матрицювання звуку в левий-правий, передній-задний канал.

Окрім цих в патенті містилися і багато інших технічних рішень, які приблизно на 20 років випереджали час і не були сприйняті сучасниками. У 1935 році Блюмлайн створив перший фільм з оптичним стереозаписом звуку. У "нагороду" за це кампанія ЕМІ, де він працював, перепрофілювала його аудіогрупу в підрозділ по розробці радарів. Під час випробувань радарної системи на літаку він загинув в авіакатастрофі.

Роботи Блюмлайна довгий час залишалися невідомими (тільки недавно з'явилася книга про нього, а ось роботи, що проводилися в Bell Labs, активно розвивалися і широко демонструвалися.

У 1933 році Флетчер і інші співробітники лабораторії Bell Labs, намагаючись розширити зону стереоефекту, додали третій гучномовець в центрі. Вони продемонстрували запис і дротяну передачу звуку по такій системі з Національної академії наук в зал Конституції у Вашингтоні. У цьому ж році були виконані і продемонстровані у виставковому центрі Чикаго перші бинауральні записи на "штучній голові". Цікаво, що А. Келлер з лабораторії Bell Labs в 1936 році наново відкрив систему стереозапису на диску 45/45, проте і тоді керівництво лабораторії не побачило у відкритті практичного застосування. Тільки у 1950-і роки фірма Westrex Corporation утретє запатентувала принцип стереозапису на диску 45/45.

У 1936 році була запропонована Philips-Miller система для запису двоканального звуку на спеціальній доріжці кіноплівки, причому система була здатна записувати стереозвук достатньо високої якості.



Вирішальним для просторового звуку став 1940 рік, коли Флетчер і знаменитий диригент Стоковський продемонстрували в концертному залі Карнегі-холла нову трьохканальну систему запису. Звук записувався оптичним способом на три трека плівки, четвертий трек використовувався для запису контрольних сигналів. У системі був застосований широкосмуговий компандер, що дозволяло передавати широкий динамічний діапазон.

У цьому ж році на екрани вийшов фільм "Fantasia" (музичний супровід записав оркестр під керівництвом Стоковського), в якому була використана система просторового звуку, що отримала назву Fantasound. У системі звук записувався оптично на чотири трека, з них контрольний трек дозволяв панорамувати звук на будь-який з десяти гучномовців в залі: лівий, центральний, правий, бічні і задні. Проте система Fantasound не викликала інтересу.

Під час війни в 1942 році на німецькому радіо в Берліні вперше була продемонстрована тільки що створена система магнітного стереозапису.

У 1948 році відбулися три події, що мали велике значення для майбутнього розвитку просторового звуку: введений новий формат для побутового звукозапису на 331 /3 обороту, створено суспільство Аудіоінженерів (AES) і винайдений транзистор.

Другий період - розквіт стереозвуку. У 1950-і роки стереозвук остаточно прийшов в аудіотехніку. Передовою ланкою використання просторового звуку стало кіно. У 1952 році була вперше продемонстрована нова система "Синерама", що використовує сім звукових треків, з них один контрольний. У системі застосовано п'ять екранних гучномовців і велику групу гучномовців, розподілених в залі, на яких могли подаватися різні комбінації сигналів з різних каналів. Система створювала різні просторові звукові ефекти при демонстрації кінофільмів, але через свою дорожнечу була витиснена дешевшою системою Cinemascope, яка використовувала чотири звукових трека для лівого, правого, центрального гучномовців плюс один моноканал. Ця система використовувалася в декількох фільмах, в основному, правда, для створення окремих ефектів, наприклад, прольоту літаків і ін. Знадобилося ще два десятиліття, щоб в кіно прийшов повноцінний просторовий звук. У цей же період стереозвук почав активно упроваджуватися в побутову техніку: у 1961 році

почалося стереорадіосповіщення, вперше продемонстроване фірмою WEFM в Чикаго. У 1963 році фірма Philips випустила першу компакт-диск-касету. Застосування з 1969 року системи шумозаглушення фірми Dolby (B-тіп) дозволило значно поліпшити якість запису.

Дослідження в області поліпшення локалізації і панорамування стереобраза привели вже в кінці 1960-х років до ряду нових результатів. Наприклад, Гольдмарк і Голлівуд з CBS Labs довели, що використання низькочастотних блоків і невеликих середньо-високочастотних акустичних систем дозволяє створити звуковий образ практично такий же, як і у двох повнодіапазонних великих систем. Ця ідея знайшла щонайширше застосування у наш час (у саббвуферах і сателітах). Для розширення зони стереоефекту в цей же час було запропоновано використання додаткового центрального гучномовця. У 1963 році Шредер і Атал запропонували схеми для придушення перехресних акустичних зв'язків, що знайшло застосування при подальшому розвитку бинауральної стереофонії і в сучасних системах віртуальної реальності.

На 1970-і роки припав зліт, а потім падіння квадростереофонії. Все почалося з дослідів Р. Берковіца, що працював у фірмі Acoustic Research Corporation, який експериментував з розстановкою передніх і тилкових пар гучномовців. Але незабаром його ідеї знайшли комерційну підтримку, оскільки дозволяли додати до переднього стереообразу певне відчуття акустичного оточення. Перед інженерами встала проблема, як передати через канали радіомовлення і звукозапису інформацію про чотири канали. Однією з перших була матрична квадрофонічна система, запропонований Р. Шайбером, який встановив принципи побудови таких систем. На основі його ідей були створені такі матричні системи, як CBS SQ і Sansui QS, а також система Д. Хафлера фірми Electro-Voice, які використовували чотири гучномовці - два передніх і два тилкових. Виняток становила система Окамото і Купера, де використовувалася інша конфігурація: центральний, лівий, правий гучномовці і один моноканал для заднього гучномовця (пізніше вона була використана в Dolby MP-матричної системі). Кожна з цих систем використовувала кодер, щоб "упакувати" чотири канали два. Звичайно це був пасивний мікшер, що використовує сумарно-різницеве зважене поєднання сигналів, іноді з деяким фазовим зрушенням. Ця система мала певні обмеження, пов'язані з поганою роздільністю каналів, у зв'язку з чим були додані деякі активні логічні підсистеми з метою кращого виділення основних

сигналів. Крім того, системи були дуже чутливі до фазових і амплітудних зрушень між каналами. Проте, не дивлячись на це, були створені декодери, відпрацьована технологія квадрозаписи на диски (система RCA/JVC CD-4-hbc), був запропонований формат квадрозаписи на касети і так далі і у продажу з'явилися комерційні квадрофонічні записи.

Особливе місце в цей час зайняла система просторового звуку Ambisonics, винайдена М. Герценом, яка намагалася відтворити просторове звукове поле методами, що отримали згодом назву "Хвилевий синтез". Проте з малим числом гучномовців вона мала дуже обмежену зону просторового ефекту. Спроби використовувати велику кількість гучномовців були запропоновані в системі Накаями в 1971 році чотири фронтальних плюс два бічних плюс два тилкових. Всі ці експерименти підготували базу для подальшого створення найбільш оптимальної конфігурації гучномовців.

Тоді як в побутовій апаратурі робилися спроби, не завжди успішні, пристосувати стереоканали для передачі квадроінформації, в професійній техніці для кіно був досягнутий значний прогрес. У 1976 році лабораторія Dolby розробила спеціальну апаратуру кодування і декодування для чотирьохканальної матричної системи для кіно, при цьому на тилкових гучномовці подавався один моносигнал. Система була вдосконалена в 1978 році До. "Пологовим будинком з цієї ж лабораторії за рахунок введення додаткових фазових зрушень для тилкових каналів. У 1983 році Д. Манделл з лабораторії Dolby запропонував новий алгоритм Pro-Logic, що використовує динамічну систему матрицювання. Успішна демонстрація систем просторового звуку при створенні ряду кінофільмів підштовхнула розвиток домашніх систем. У 1975 році з введенням Sony Betamax VCR відбулася відеореволюція. Пізніше був введений VHS формат VCR, спочатку з лінійним аналоговим монофонічним звуковим трэком, потім, після 1980 року, з аналоговим стереотрэком і нарешті в 1983 році з окремо компандированным FM стереотрэком VHS HI-FI, що забезпечило можливість передачі двоканального звукового сигналу з достатньо хорошою якістю і послужило базою для впровадження системи Dolby Pro-Logic в побутову техніку. У 1980 році був прийнятий формат для лазерних дисків.

Як завжди, успіхи в звукозаписі підштовхнули впровадження матричної стереофонії в радіомовлення, різні системи сумарно-

різницевого матрицювання (наприклад, BTSC стереосистема) почали використовуватися в комерційному радіомовленні в Америці і Європі.

Третій період - цифровий звук і системи Surround Sound. Поява цифрового звуку, яка була, по суті, революцією в аудіотехніці, почалося в 1970-году спокійно на відміну від великого шуму в цей же час, пов'язаного з квадрофонією. Поява цієї технології була підготовлена розвитком транзисторної техніки. Використання великого числа транзисторів виявилось недостатнім для вирішення багатьох логічних завдань, що привело до створення цифрових інтегральних схем з аналого-цифровими і цифро-аналоговими перетворювачами і засобами для запису і зберігання цифрового звуку. Аудіоінженери почали освоювати цю техніку, намагаючись спочатку перенести операції, які вони робили з аналоговим звуком на транзисторах, і тільки потім зрозуміли, які величезні можливості відкриває їм ця техніка. Вперше на конгресі AES в 1976 році в Нью-Йорку Т. Стокман продемонстрував перші цифрові записи на рекордері фірми Hewlett-Packard. У 1970 році була створена перша цифрова лінія затримки Lexicon Delta - T 101. У 1975 році фірма EMT розробила перший цифровий ревербератор, а в 1981 році з'явився лазерний компакт-диск. Поява CD дозволила вирішити традиційні проблеми в техніці звукозапису: зменшити шуми, тріск, флаттеру, спотворення і ін. Подальшим кроком вперед по відношенню до використовуваної у той час чотирьохканальної матричної системи фірми Dolby була запропонована Т. Хольманом з Lucasfilm просторова система 5.1 з двома додатковими тилловими гучномовцями і одним низькочастотним блоком (саббвуфером). Ця система в 1991 році була внесена до стандарту ITU-R Rec. BS 775-1.

У 1978 році у фільме "Супермен" вперше були використані звукові треки з 5.1 каналами на 70-міліметровій плівці з використанням Dolby шестиканального магнітного формату, створеного Ш. Аленом, в якому комбінувалися два тиллові канали з двома фронтальними каналами. Надалі просторові системи для кіно і для будинку почали розвиватися окремо. Система для кіно отримала назву THX, в ній зазвичай використовувалися рупорні системи, нові типи розділових фільтрів Лінквітца-рілі четвертого порядку і спеціальні програми для узгодження системи з різними умовами приміщення. Для домашніх систем використовувалася модифікована система EQ із спеціальним декоррелятором для тиллових систем, щоб поліпшити просторове сприйняття звуку.

Використання Dolby матричних систем для передачі просторового звуку тривало до початку 1990-х, поки не з'явився цифровий запис звуку на 35-міліметровій плівці. Заслуга впровадження цифрового запису звуку належить, перш за все, фірмі Kodak і корпорації "Optical Radiation", які в 1990 році ввели систему CDS (Cinema digital soundtrack). Ця система використовувала 5.1 каналів з 12 битий АЦП, цифрові дані записувалися оптично на плівці в тому місці, де зазвичай був записаний аналоговий стереотрек. На жаль, не завжди можна було відтворювати цифровий звук в кінотеатрах і доводилося випускати фільми в двох модифікаціях - аналоговому і цифровому. У 1992 році фірма Dolby ввела нову SR-D цифрову систему просторового звукозапису, який вперше був використаний у фільмі "Бетмен повертається". Система залишала аналогові звукові трэки на плівці (з використанням Dolby SR-шумоподавлення) і розміщувала цифрову інформацію на незвичайному місці між бічними отворами на краю плівки. Щоб подолати обмеженість площі розміщення, в системі застосовувався спеціальний багатоканальний кодер, який обробляв всі канали як ансамбль, а не кожен окремо. Пізніше була зроблена спроба, наприклад, у фільмі "Парк юрського періоду", записувати цифрові аудіодані на окремий CD-ROM і синхронізувати його з відео.

У 1993 році фірма Sony ввела нову 7.1-канальну систему SDDS, де два додаткові канали використовувалися для п'яти екранних гучномовців. У цій системі аудіодані записувалися на двох зовнішніх краях плівки (за межами бічних отворів). Система працювала із спеціальним Sony ATRAC кодером. Всі ці системи використовуються і понині.

Прагнення до збільшення числа переданих каналів привело до створення в 1990-і роки нового покоління багатоканальних кодерів: Dolby Digital (AC-3), Musicam Surround, AAC, WMA, MLP і MPAC. Деякі кодери використовували окремі блоки для загальної обробки всіх каналів, зокрема, для вирішення таких проблем, як міжканальне маскування, міжканальний прогноз і ін.

У 1993 році система 5.1 -канального просторового звуку була вибрана для телебачення, де почав використовуватися кодер ATSC Dolby Digital (AC-3) для передачі звуку в системі HDTV. Цей кодер був вибраний також в 1997 році для забезпечення звуку на DVD-Video (з DTS-кодером як альтернатива). У 1999 році був введений формат DVD-Audio з дуже високою якістю просторового звуку (24-бит).

За останні роки відбувається швидкий розвиток систем передачі звуку по Інтернету з широким використанням формату MP3 для компресованого стереозвуку і введенням різних форматів для передачі звуку по мережах Real Networks, Microsoft, Apple і ін.

В даний час 5.1-формат прийнятий для просторових звукових систем в DVD, HDTV, кіно і Інтернеті. Проте вже з'являються пропозиції про введення SDDS 7.1-формата, про різні системи з трьома або чотирма тильовими гучномовцями, IMAX-канальною конфігурацією і новій системі E. Хольмана з 10.2-каналами. Були зроблені спроби створення систем з використанням додаткових каналів для вертикальних стельових гучномовців, збільшеного числа бічних і екранних гучномовців і так далі. Проте звичайний стереоформат продовжує ще активно використовуватися в аудіо-CD, MP3, аудіокасетах і радіомовленні. Спроби витягувати просторову естетичну інформацію із стереозвуку за допомогою спеціальних просторових синтезаторів були зроблені у ряді систем: Dolby Pro-Logic II, DTS Neob, Lexicon Logic 7 і ін. Фактично ці системи є свого роду мостом між стереосистемами і 5.1 дискретними системами.

Таким чином, до теперішнього часу для передачі просторового відчуття звуку використовується багато різних способів: бинауральна стереофонія, 4:2:4 і 5:2:5 матричних просторових систем; цифрові просторові системи у форматі 5.1 з низькобітовими кодерами і ін.

#### **§ 4.5 Методика застосування звукових засобів**

Звукові засоби навчання разом з діафільмами вважаються найбільш часто використовуваними технічними засобами навчання і виховання в шкільній масовій практиці. По ряду шкільних дисциплін відповідно до учбових програм комплекти звукової допомоги, об'єднані у фонохрестоматії.

Магнітний запис відкриває набагато ширші педагогічні можливості, ніж грамзапис. Можливість запису мови що навчається, аналізу помилок, порівняння її із зразковою мовою, а також багатократного відтворення, повторення з точністю, недоступною людині, дозволяє удосконалювати методику викладання мов. Застосування звукозапису для розвитку усної мови що вчаться допомагає вчителю зафіксувати

її, виявити невловимі для учнів при вимові помилки, проаналізувати і усунути їх.

Точний запис усної мови при навчанні дає можливість вчителю зробити її у учнів правильнішою і виразнішою, відпрацювати інтонації, темп, добитися уміння застосовувати паузи і інші прийоми, виправити змістовні помилки. Звукозапис використовують і при вивченні граматики, особливо тих розділів синтаксису, де важлива інтонація, оскільки від неї залежить правильна розстановка розділових знаків.

Магнітофон можна застосовувати для магнітофонного опиту, коли по черзі 3-4 учні під час ущільненого опиту тихенько наговорюють невеликі за тривалістю (2 – 3 мін) відповіді на магнітофон, які вчитель прослуховуватиме після уроку і поставить відмітки. Після прослуховування вчитель може відпрацювати відповідь разом з учнем, уточнити і виправити всі допущені помилки і неточності. Такий опит добре використовувати для боязких і слабоуспеваючих учнів, які бояться говорити перед класом. Магнітофільми до уроків можуть бути створені самим викладачем на підставі записів з радіо і телеприймачів, живої мови, звуків природи або штучних, магнітних записів, грамзаписів, записів на дисках і ін. Магнітний запис можна постійно доповнювати, коректувати і, коли вона зноситься, переписати на нову стрічку.

Всі звукові записи, використовувані в школі, можна розділити на дві групи: учбові і художні. Учбові записи мають робочі паузи для виконання завдань, коментарі по окремих частинах записаного матеріалу, спеціально вставлені порівняння і зіставлення. Художні записи цілісно відтворюють художній текст без яких-небудь дидактичних вставок.

У шкільній практиці використовують наступні види аудіозаписів.

Документальні звукозаписи, які включають записи голосів письменників, історичні фонодокументи, виступи політичних діячів, учених, розповіді очевидців або учасників подій. Фонохрестоматія «Велика Вітчизняна війна» воскрешає сторінки трагічної і героїчної історії нашої країни.

Тематична звукова допомога - спеціальні фонозаписи по темах шкільних програм. Наприклад «Голоси історії живі», «Куліковська битва» і ін.

Записи музичних творів перш за все використовуються на уроках музики, допомагаючи відчутти глибину і силу музичного мистецтва, навчити дошкільника і школяра слухати музику, збудити в нім любов і живий інтерес до неї, зрозуміти її зміст і характер.

Записи натуральних, природних звучань, коли реальний звук допомагає краще зрозуміти і відчутти суть явища, що вивчається. Наприклад, на уроці або занятті важливо прослуховувати крики і голоси різних тварин і птахів, шум морить, звуки грози, промислові звуки і тому подібне

Звукозаписи для організації самостійної діяльності що вчать на уроці - записані на магнітну стрічку диктанти і різноманітні завдання для самостійної роботи учнів.

Звукозаписи для лінгафонних пристроїв. Застосування спеціальних програм (звукозаписів) для лінгафонних пристроїв і кабінетів дає можливість таким, що вчиться вправлятися в сприйнятті мови без зорової опори. На уроках історії застосовують як документальні записи, так і художні уривки, відтворюючи на документальній основі історичні події. Вони допомагають таким, що вчиться глибше проникнути в історичну дійсність, конкретизують її і сприяють створенню яскравих образів. У них звучать голоси очевидців подій або запису з місця події, які не тільки мають велике пізнавальне значення, але і викликають у учнів глибокий емоційний відгук.

Пізнавальні аудіозаписи не тільки підвищують інтерес до уроків і закріплюють позитивну шкільну мотивацію, але і будять інтерес до того, щоб дізнатися щось додаткове самостійно.