

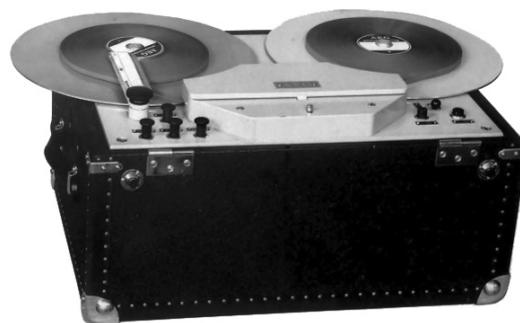
# АПОЛОГИЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ

© А. Востоков, 2006  
[avostokov@yandex.com](mailto:avostokov@yandex.com)

*Вопреки заглавию этой статьи, в ее содержании преобладает не столько защита аналоговых форматов, сколько попытка объективной критики сложившегося мнения о безусловном превосходстве цифровой звукозаписи. Мне хотелось бы обозначить те области применения, в которых аналоговая техника имеет явное преимущество. Несмотря на появление в последнее время целого ряда новых цифровых форматов, магнитная запись не может быть полностью ими заменена и остается актуальной для высококачественного звуковоспроизведения. Тем не менее, в ближайшем будущем магнитная лента перестанет быть массовым носителем, но в силу рассматриваемых здесь причин сможет сохранить свое место среди профессионалов и энтузиастов звукозаписи.*

## **1. Экскурс в историю**

Как известно, основоположником техники магнитной записи является О. Смит, опубликовавший в 1888 г. описание, как самого аппарата, так и носителя на основе шелковой или хлопчатобумажной ткани, с впряденными в нее стальными опилками. Первый работоспособный экземпляр, названный «Telegraphone» и ведущий запись на стальную проволоку, был изготовлен и продемонстрирован В. Паульсеном в 1898 г. Позднее он же предложил использовать в качестве носителя записи стальную ленту. Но только к середине 30-х годов XX века в Германии компанией BASF была разработана технология производства магнитных лент на бумажной или пластмассовой основе с рабочим слоем из порошкового железа. Тогда же компанией AEG-Telefunken был освоен выпуск аппаратуры магнитной записи для радиовещания под названием «Magnetophone», которое позднее стало нарицательным. После внедрения, в начале 40-х годов, способа высокочастотного подмагничивания, магнитная запись по своему качеству резко превзошла все, известные к тому времени, способы



*Рис. 1 – Первый в мире серийный магнитофон AEG K1*

звукозаписи. Тогда же впервые удалось создать серийные образцы аппаратуры, при использовании которых слушатели уже не могли отличить трансляцию «живого» концерта от его записи.

Широкое распространение магнитной записи в других странах началось только после окончания Второй мировой войны и вывоза соответствующих технологий из Германии. Дальнейшее развитие этой аппаратуры было связано с разработкой новых магнитных лент, что позволило значительно снизить скорость носителя. В 1951 г. был предложен метод динамического подмагничивания и примерно в то же время появляются усовершенствованные конструкции магнитных головок, позволившие оптимизировать процессы записи и воспроизведения.

Надо сказать, что вплоть до 60-х годов количество производителей высококачественных магнитофонов было весьма ограничено. В Европе этим занимались немецкие фирмы AEG-Telefunken и Uher, а также швейцарские Studer / Revox и Nagra; в США – Ampex, создавшая в 1956 г. первый серийный видеоманитофон; в Японии – Sony, которая в 1956 г. впервые выпустила полностью транзисторный магнитофон. Однако, с появлением в том же 1956 г., стереофонических грампластинок, началась конкурентная борьба между производителями стереофонических магнитофонов, которые первоначально разрабатывались для профессиональной звукозаписи. Благодаря этой конкуренции удалось оптимизировать используемые технологии, что, в свою очередь, привело к разработке и широкому распространению бытовой аппаратуры магнитной записи.

Далее начинают появляться кассетные носители, прежде всего, чтобы упростить обращение с бытовыми магнитофонами. Хотя первые кассеты для катушек с проволокой были использованы еще в конце двадцатых годов немецкой



*Рис. 2 – Elcaset Sony LC-60 FeCr. Для сравнения показана с компакт-кассетой Sony C-60 FeCr*

фирмой Schaub Elektrik-Lorenz, массовое распространение кассет произошло только в 60-х годах. Тогда было предложено множество несовместимых между собой форматов кассет для магнитной ленты. При этом в Европе получили распространение кассеты с двумя рулонами ленты: Compact-Cassette фирмы Philips, DC-International фирмы Grundig, Unisette фирмы BASF и др. В США же отдавалось предпочтение

картриджам с одним рулоном ленты, склеенной в кольцо: Fidelipack, Lear-Jet, Orrtronic и др. Такие картриджи предназначались в основном для автомобильных проигрывателей, но при этом на них было возможно записывать и квадрафоническую фонограмму. Однако по ряду причин коммерческого и субъективного характера из всего многообразия предложенных форматов выжила только одна компакт-кассета, изначально разрабатывавшаяся для записи речи.

На фоне этого, в начале 70-х годов фирма Sony предложила более высококачественный и дорогой формат – Elcaset (**Рис. 2**). Но и он не выдержал конкуренции, так как одновременно с ним на рынке появились хромдиоксидные ленты и компандерный шумоподаватель Dolby, при использовании которых компакт-кассета могла обеспечить звукозапись с качеством, удовлетворяющим запросам большинства потребителей. Со временем многие технологии, которые изначально разрабатывались для катушечных магнитофонов, были перенесены в кассетные аппараты. Однако для того чтобы добиться от кассетного магнитофона действительно высококачественного звучания, до сих пор, требуется либо удвоение скорости ленты при одновременном использовании динамического подмагничивания, либо применение дорогих и склонных к окислению металлопорошковых лент в сочетании с уникальными магнитными головками и специальной обработкой сигнала для уменьшения искажений. В обоих случаях необходимы ручная или автоматическая регулировка канала записи под конкретную ленту и использование компандерного шумоподавателя.

Также в середине 60-х годов начинает развиваться цифровая обработка и запись сигналов. Первая публичная демонстрация цифровой записи звука с импульсно-кодовой модуляцией – ИКМ была проведена в 1967 г. японской радиовещательной корпорацией NHK. При этом носитель представлял собой магнитную ленту, которая проигрывалась на видеомэгнитофоне с наклонно-строчным методом записи. Использование для записи цифровых сигналов видеомэгнитофонов, как уже существующего оборудования, оказалось весьма удачным, и первые цифровые магнитофоны разрабатывались двухблочными, содержащими собственно видеомэгнитофон и цифровой звуковой процессор.



*Рис. 3 – Цифровой звуковой процессор Sony PCM-1*

Впервые в мире такой процессор для бытового применения, имеющий частоту дискретизации 44,1 кГц и 13-разрядное квантование по уровню был предложен фирмой Sony в 1977 г. (**Рис. 3**). После демонстрации этого оборудования

промышленность, работавшая на рынок аудиоаппаратуры, начинает активно осваивать новую область техники. Так в 1977 г. на основе аналогового видеодиска был разработан цифровой звуковой диск – DAD (Digital Audio Disc), но различные фирмы предлагали свои собственные форматы этого носителя. Все понимали, что новый диск быстро станет популярным, поэтому было принято решение в кратчайшие сроки достичь соглашения по его стандартизации, что и привело к появлению в 1982 г. всем известного формата компакт-диск – CD.

## 2. Анализ современного рынка носителей звукозаписи

На протяжении последних десятилетий самым массовым носителем звукозаписи оставалась компакт-кассета. Так, по данным Японской ассоциации электронной промышленности – EIAJ за 1995 г., три из четырех проданных в мире носителей звука – это компакт-кассеты, чистые или с записью. В этот период мировое производство компакт-кассет превышало 6 миллиардов штук в год, что втрое больше объема выпуска компакт-дисков и грампластинок вместе взятых. На долю всех остальных носителей звукозаписи приходилось менее 1% мирового производства.



Рис. 4 – Компакт-кассета Sony Super Metal Master 90

**Табл. 1 – Мировой спрос на чистые носители записи (млн. шт.) [12]**

Год	Compact-Cassette	Mini-Disc	Audio CD-R	Data CD-R <sup>1</sup>	CD-RW <sup>1</sup>	DVD-R <sup>1</sup>	DVD-RW <sup>1</sup>
1988	1766						
1989	1907						
1990	1897						
1991	1885						
1992	1896						
1993	1893						
1994	1891	6					
1995	1869	12		24			
1996	1842	35		79			
1997	1742	66		203			
1998	1546	125		629			
1999	1308	187		1900	49		
2000	1130	225	106	3282	121	3	
2001	929	243	169	5016	236	14	
2002	758	219	246	5880	282	115	23
2003	614	208	290	7048	306	345	82
2004	491	196	303	7683	303	1192	177
2005	390	144	289	7144	290	3643	289

## Примечание:

1. Включая диски для записи данных и видео.

Несмотря на негативные прогнозы, в 2005 г. мировое производство компакт-кассет превысило 1 миллиард штук. Но здесь необходимо отметить, что общее снижение производства, наблюдаемое за последние годы, вызвано прекращением выпуска наиболее качественных и дорогих моделей компакт-кассет с магнитными лентами на основе диоксида хрома (МЭК-II) и металлического порошка (МЭК-IV).

Это связано с общим движением рынка аналоговых носителей в сторону массовых изделий низкого качества. Таким образом, именно отсюда исходит основная угроза дальнейшему существованию высококачественной аппаратуры магнитной записи звука.

### 3. Сравнение компакт-кассеты и компакт-диска

Для начала проведем сравнение самых распространенных на сегодняшний день форматов звукозаписи: компакт-кассеты (СС) и компакт-диска (CD). Благодаря заявленным в спецификации этих форматов характеристикам, утвердилось мнение, что компакт-диск обеспечивает больший динамический диапазон, чем компакт-кассета. При этом в качестве основного аргумента приводится формула для расчета шумов квантования:



*Рис. 5 – Эталонная компакт-кассета BASF, использовавшаяся для контроля пресс-форм на промышленном производстве*

$N_{\text{кв}} = 6,02 \cdot N + 1,76$  [дБ], где  $N$  – разрядность квантования по уровню.

Для формата компакт-диска принято значение  $N=16$ , следовательно, теоретический уровень шумов квантования составляет 98 дБ. Обычно это значение и принимают за его динамический диапазон. Учитывая, что у лучших компакт-кассет отношение сигнал/шум составляет порядка 60 дБ (без систем шумопонижения), делается вывод о выигрыше компакт-диска на 40 дБ.

Однако нельзя забывать, что принципы аналоговой и цифровой звукозаписи принципиально отличаются, поэтому применять для оценки динамического диапазона компакт-диска методы измерений принятые для

компакт-кассет совершенно некорректно. Динамический диапазон компакт-кассеты снизу определяется уровнем шумов, а сверху коэффициентом нелинейных искажений ( $K_{ни}$ ), порог заметности которого определен на уровне 3%. В случае компакт-диска складывается совершенно другая ситуация. На **Рис. 6**, изображены типовые зависимости  $K_{ни}$  как функции уровня сигнала для данных носителей. Из них можно заметить, что в аналоговой записи с уменьшением уровня сигнала  $K_{ни}$  монотонно убывает, в то время как у цифровой записи он увеличивается, стремясь к 40% (поскольку возрастает относительный размер ступеньки квантования).

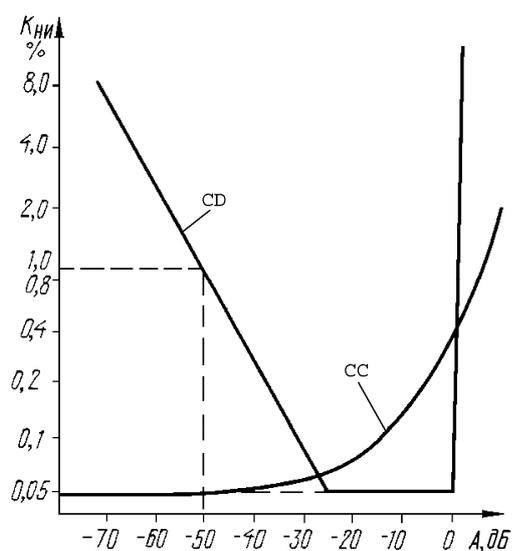


Рис. 6 –  $K_{ни}$  компакт-кассеты и компакт-диска [3]

При этом у аналоговой записи в спектре нелинейных искажений преобладают не сильно раздражающие слух 3-я и 5-я гармоники. В то же время у цифрового сигнала нелинейные искажения проявляются в виде множества комбинационных составляющих, которые не образуют привычного для слуха гармонического ряда. Поэтому их действие становится заметным уже при  $K_{ни}$  около 1%. Легко убедиться, что при уровнях сигнала порядка -50 дБ и ниже, искажения сигнала компакт-диска переходят допустимый порог в 1%. Таким образом, снизу динамический диапазон компакт-диска ограничен не шумами

квантования, а нелинейными искажениями. В связи с этим, из заявленных 98 дБ у компакт-диска остается только 50 дБ расчетных.

Кроме этого, при перегрузке магнитной ленты, возникающие нелинейные искажения пропорциональны квадрату уровня записи, поэтому их кратковременное появление на пиках сигнала практически незаметно на слух. У компакт-диска при превышении номинального входного уровня аналого-цифрового преобразователя (АЦП) всего на 2...3 дБ нелинейные искажения возрастают на несколько порядков, поэтому в цифровой аппаратуре за номинальный принимают уровень на 12...15 дБ (т.е. на пик-фактор реального музыкального сигнала) меньше предельного входного уровня для АЦП. В результате у компакт-диска из теоретических 98 дБ динамического диапазона остается, в лучшем случае, 38 дБ реальных, что на 22 дБ меньше, чем у компакт-кассеты.

Таким образом, безусловными преимуществами компакт-диска остаются только его эксплуатационные свойства, такие как удобство хранения, быстрый доступ к необходимой записи и отсутствие механического износа.

#### **4. Появление новых цифровых форматов**

Все сказанное выше, относительно динамического диапазона компакт-диска, в полной мере относится к таким цифровым форматам как R-DAT, DCC и MD, использующим 16-разрядное квантование по уровню. Более того, в последних двух форматах применяются алгоритмы сжатия потока данных с потерей информации. Основным методом реализации такого сжатия является использование эффектов маскировки и психоакустики слуха, а также удаление избыточных сигналов при помощи специальных математических алгоритмов. Очевидно, что качество звучания при этом напрямую зависит от степени сжатия. Таким образом, DCC и MD принципиально менее точно воспроизводят первоначальный сигнал, чем CD. То же самое можно сказать и о получивших распространение компакт-дисках, записанных в формате MP3. Примененный здесь алгоритм сжатия MPEG Audio Layer 3 уменьшает поток цифровых данных до 32...320 кбит/с (в зависимости от настройки кодера).



*Рис. 7 – DCC-кассета  
BASF DCC Maxima 90*

#### **5. Цифровые форматы высокого разрешения**

Как видно из **Табл. 2**, реально конкурировать по качеству звуковоспроизведения с аналоговой магнитной записью могут только цифровые форматы высокого разрешения – SACD и DVD-Audio. В действительности у них много общего – одинаковая физическая структура дисков диаметром 12 или 8 см и логическая структура данных, служащая основой для создания дисков. В обоих форматах поддерживается многоканальный звук (до шести каналов) со сверхвысоким разрешением, совместимость проигрывателя с форматом CD и возможность использования графического и текстового материала.

Идея повышения качества звучания компакт-диска за счет увеличения частоты дискретизации и наращивания разрядности очевидна и при появлении технических возможностей была реализована в формате DVD-Audio. Однако

следует понимать, что по мере повышения частоты дискретизации и разрядности сигнала в системах с импульсно-кодовой модуляцией – ИКМ реальные улучшения качества звука становятся все менее заметными. Известна и причина этого явления, которая заключается в фильтрации сигнала. В ИКМ-системе на входе необходимы фильтры с очень крутой характеристикой, чтобы подавить частоты, равные половине частоты выборки или превышающие ее. Недостатком таких фильтров является не только ограничение по частоте, но и негативное влияние на фазовую характеристику звукового сигнала.

**Табл. 2 – Сравнительные характеристики цифровых форматов звукозаписи (в режиме двухканального сигнала)**

Характеристика	Compact-Disc (CD)	Rotary-Head Digital Audio Tape (R-DAT)	Digital Compact-Cassette (DCC) <sup>1</sup>	Mini-Disc (MD)	Super Audio Compact-Disc (SACD)	Digital Versatile Disc - Audio (DVD-A)
Год введения	1982	1987	1992	1993	1998	1999
Фирмы-разработчики	Sony, Philips	Группа компаний	Philips	Sony	Sony, Philips	Группа компаний
Диапазон частот, Гц	5...20000	2...22000	20...20000	5...20000	0...100000	0...96000
Динамический диапазон, дБ	96	96	92	96	120	144
Время записи, мин	74	120	120	74	110	74
Частота дискретизации, кГц	44,1	48	48	44,1	2822,4	192
Интервал выборки, мкс	22,7	20,8	20,8	22,7	0,354	5,2
Разрядность квантования, бит	16	16	16	16	1	24
Формат данных	Pulse-Code Modulation (PCM)	Pulse-Code Modulation (PCM)	Pulse-Code Modulation (PCM)	Pulse-Code Modulation (PCM)	Direct Stream Digital (DSD) <sup>2</sup>	Pulse-Code Modulation (PCM)
Алгоритм сжатия данных	-	-	Precision Adaptive Subband Coding (PASC)	Adaptive Transform Acoustic Coding (ATRAC)	Direct Stream Transfer (DST) <sup>3</sup>	Meridian Lossless Packing (MLP) <sup>3</sup>
Метод коррекции ошибок	Cross Interleave Reed-Solomon Code (CIRC)	Cross Interleave Reed-Solomon Code (CIRC)	Cross Interleave Reed-Solomon Code (CIRC)	Advanced Cross Interleave Reed-Solomon Code (ACIRC)	Reed-Solomon Product Code (RSPC)	Reed-Solomon Product Code (RSPC)
Скорость потока, Мбит/с	1,4	2,46	0,384	0,292	6,5536	9,6

### Примечания:

1. Разновидность Stationary-Head Digital Audio Tape (S-DAT);
2. Разновидность Sigma-Delta Modulation (SDM);
3. Алгоритм сжатия без потерь данных.

Увеличение частоты выборки облегчает работу фильтра, но простым увеличением частоты невозможно решить проблемы появления шумов квантования при аналого-цифровом и цифро-аналоговом преобразовании. С учетом этого, особый интерес представляет формат SACD, в котором используется одnorазрядный поток данных – DSD, позволяющий избежать некоторых искажений сигнала, характерных для ИКМ.

Интересной особенностью формата DSD является тот факт, что после декодирования цифровой поток может подаваться на усилитель непосредственно через фильтр низких частот. Еще одной причиной, побуждающей отказаться от многоразрядных ИКМ-систем записи звука, является необходимость осуществления сложной децимации и интерполяции сигнала, приводящих к усложнению схемотехники и ухудшению качества звучания.

Кроме этого, в силу высокой частоты дискретизации в DSD-сигнале спектр шума сдвинут к более высоким частотам (**Рис. 9**). Эти частоты находятся в неслышимой части спектра и могут быть легко отфильтрованы. Такая ситуация отлична от линейной ИКМ, когда шум имеет постоянный уровень, определяемый разрешением. В действительности этот подход требует дополнительного внимания к аналоговой части – здесь должна быть использована высококачественная схемотехника.



*Рис. 8 – Проигрыватель SACD-дисков  
Sony SCD-1*

Поскольку в одnorазрядном формате любой бит несет одно и то же количество информации, эффект каждой ошибки не зависит от того, какой бит является ошибочным. При этом одnorазрядные ошибки имеют тот же эффект, что и ошибки в аналоговой записи. Безотносительно к их расположению, они будут лучше обрабатываться корректирующими кодами и меньше подвергаться деградации, так как влияние ошибок будет иметь форму линейной функции.

Эффект задержки отсчетов (джиттер)

для DSD-сигнала также незначителен, поскольку задержка нескольких отсчетов (для самой высокой частоты сигнала) составляет лишь

малую часть его периода. При этом в многоразрядных системах задержка на один отсчет, для высокочастотных компонентов сигнала, может достигать половины его периода.

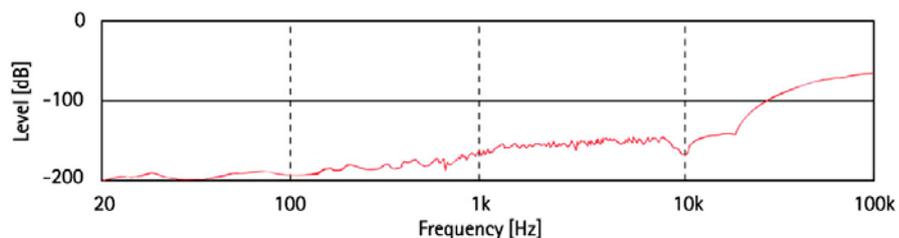


Рис. 9 – Спектр шума при дельта-сигма модуляции [11]

## 6. Ограничения новых цифровых форматов

В многочисленных докладах и дискуссиях на конгрессах Общества аудиоинженеров – AES высказывались мнения, что дальнейший прогресс в улучшении «прозрачности» и создании «ощущения присутствия» может быть достигнут за счет увеличения разрешающей способности цифровых систем звукозаписи и расширения частотного диапазона передаваемого сигнала за пределы 20 кГц.

Однако анализ знаний, накопленных в данной области, показывает, что этого недостаточно. Учитывая сложность звукового сигнала и особенности слуховой системы человека, можно утверждать, что здесь требуется повышение разрешающей способности аппаратуры во всех областях (временной, спектральной, пространственной и динамической). По крайней мере, уже сейчас становится очевидным, что для обеспечения прозрачности звучания высокая разрешающая способность во временной области является наиболее важной.

Запись реального реверберационного процесса без потери информации связана с огромными трудностями. Например, в помещении объемом  $1000 \text{ м}^3$  число отражений звука, через одну секунду после начала реверберационного процесса, составляет более 511 000 отр./с. Это значит, что отраженные волны будут прибывать к слушателю с интервалом менее 2 мкс, вызывая соответствующие изменения в выходном сигнале микрофона. Естественно, что даже при временном интервале между

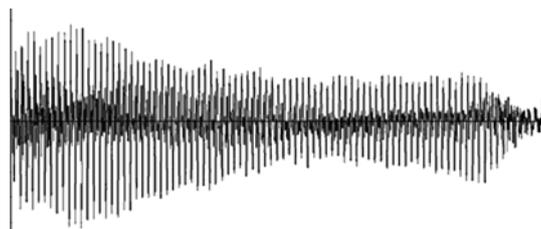


Рис. 10 – Временная структура звука скрипки [7]

отсчетами 5,2 мкс (для DVD-Audio) эти изменения не смогут быть зарегистрированы.

Тщательные измерения показали, что в этих отраженных сигналах происходят быстрые амплитудные и фазовые сдвиги и быстрые нерегулярные изменения частоты (частотный джиттер). Когда два или несколько микрофонов распределены в помещении и выполняется многодорожечная запись, эти сложные временные соотношения между сигналами с частотной модуляцией, при бинауральном прослушивании, создают сдвиги во временной области. Как оказалось, слуховой аппарат человека к таким бинауральным сдвигам (бинауральный джиттер) очень чувствителен, даже если они составляют доли микросекунд!

Частоты дискретизации, используемые в современных форматах, оказываются недостаточными, чтобы «схватить» эти тонкие временные сдвиги, что приводит к неточной локализации в периферической зоне и потере «ощущения окружения» и «ощущения глубины». Музыка, исполняемая в помещении, создает сложный звуковой сигнал, который воспринимается чрезвычайно тонким и сложным слуховым аппаратом человека. Таким образом, аппаратура для записи звука должна иметь разрешающую способность, соответствующую как данному сигналу, так и возможностям человеческого слуха.

Кроме этого, потеря информации о первоначальном звучании в цифровых системах связана с ошибочной трактовкой теоремы Котельникова о возможности точного восстановления исходного сигнала. Часто разработчики упускают из вида, что эта теорема отсчетов была сформулирована только для дискретных



Рис. 11 – Катушечный магнитофон Studer A807 Mk II

сигналов, к которым применимы принципы теории линейных систем, в то время как оцифрованные сигналы линейного пространства не образуют. Кроме этого, данная теорема справедлива только для случаев, когда спектр исходного сигнала строго ограничен. Ограничение же спектра широкополосных сигналов с помощью фильтров низких частот – ФНЧ этого условия обеспечить не может. Поэтому для систем, содержащих аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи, теорема Котельникова может служить только

теоретической моделью для весьма приблизительных расчетов.

Таким образом, несмотря на все преимущества, предоставляемые новыми цифровыми форматами высокого разрешения, рассматривать их в качестве полной замены высококачественной аналоговой записи было бы некорректно.

## 7. Анализ современного состояния техники магнитной записи

В настоящее время, аналоговая аппаратура магнитной записи достигла такого уровня развития, выше которого рост ее качественных показателей может быть осуществлен только с непропорционально большими затратами, что приведет к существенному повышению уровня цен (**Табл. 3**).

В качестве примера можно вспомнить прототип кассетного магнитофона Lixman X-3K (**Рис. 12**). Бескомпромиссная конструкция с внешним трактом движения ленты не смогла обеспечить ему явного преимущества, оказавшись слишком громоздкой, слишком дорогой, неудобной в эксплуатации и в итоге – нерентабельной.

Парадокс ситуации состоит в том, что именно сложность дальнейшего развития аналоговой техники толкает ее производителей на переход к новым цифровым форматам, которые легче продвигать на рынке, да и обходятся они, в итоге, дешевле.

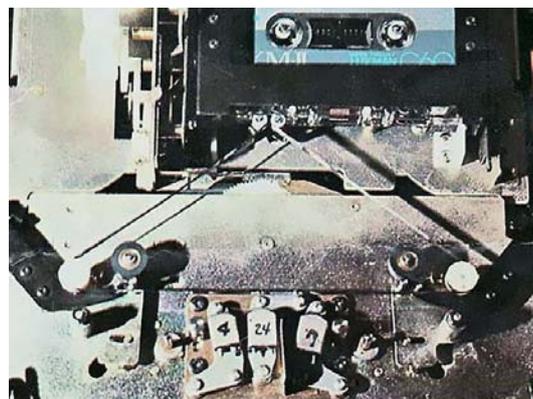


Рис. 12 – Лентопротяжный механизм прототипа Lixman X-3K

**Табл. 3 – Технические характеристики современных профессиональных магнитофонов**

Характеристика	Катушечные магнитофоны	Кассетные магнитофоны
Ширина ленты, мм	6,25	3,81
Толщина ленты, мкм	52...56	12...18
Скорость ленты, см/с	38,1	4,76
Коэффициент детонации (МЭК)	±0,05%	±0,04%
Диапазон частот (0 VU) <sup>1</sup> , Гц	30...24000 (±3 дБ)	20...16000 (±3 дБ)
Отношение сигнал/шум (МЭК-А) <sup>2</sup> , дБ	71	61
Коэффициент гармоник (0 VU, 1 кГц)	0,8%	1%
Разделение каналов (0 VU, 1 кГц), дБ	>55	>45
Уровень стирания (+10 VU, 1 кГц) <sup>3</sup> , дБ	>75	>65

### Примечания:

1. Для оценки перегрузочной способности диапазон частот приведен на уровне записи 0 VU. В соответствии с действующими стандартами принято указывать этот диапазон на уровне -20 дБ, что составляет 15...34000 Гц и 15...24000 Гц для катушечных и кассетных магнитофонов соответственно;
2. При использовании современных компандерных шумоподавителей отношение сигнал-шум может быть улучшено на 30 дБ во всем диапазоне частот. Однако при этом снижается перегрузочная способность ленты на средних и высоких частотах;
3. При использовании специальных размагничивающих устройств, уровень стирания современных магнитных лент превышает 80 дБ.

## 8. Преимущества аналоговых магнитофонов

- На сегодняшний день только аналоговые магнитофоны могут полностью передать временные характеристики аудиозаписи, которые являются важнейшими для сохранения пространственных ощущений. Ни один из распространенных цифровых форматов не способен обеспечить необходимую для этого разрешающую способность;
- С появлением новых технологий становится возможным решить давние проблемы магнитной записи на достаточно высоком уровне. Прежде всего, улучшены параметры магнитных лент, что отразилось на всех качественных показателях магнитофонов. Новые материалы для магнитных головок способны увеличить их износостойкость и стабильность параметров. Применение магниторезистивных головок позволяет снизить потери сигнала при воспроизведении, увеличить отношение сигнал/шум и расширить диапазон воспроизводимых частот. Использование систем адаптивного динамического подмагничивания, расширяет диапазон записываемых частот и увеличивает перегрузочную способность ленты. Стабильность скорости движения носителя обеспечивается безынерционными двигателями с кварцевой стабилизацией частоты, что выводит коэффициент детонации ниже порога слышимости;
- Профессиональные студийные магнитофоны отличаются высокой степенью надежности и ремонтпригодности. При грамотном уходе и своевременной профилактике эти аппараты могут работать по 10 часов в сутки в течение 10 и более лет. При этом моральное старение аналогового оборудования на порядок ниже любого цифрового, так что их экономическая эффективность (с



Рис. 13 – Кассетный магнитофон  
*Nakamichi 1000ZXL Limited*

учетом более высокой стоимости как самих аппаратов и так носителей записи) оказывается сопоставима с цифровыми рекордерами;

- Современные магнитные ленты, при соблюдении определенных условий, сохраняют свои свойства до 50...100 лет. Качественные показатели магнитной записи допускают как непосредственное воспроизведение через 100 лет хранения, так и последующую реставрацию с применением новейших (на момент восстановления) алгоритмов. Ни один цифровой формат не обладает такими достоинствами, так как приводит к невозможной потере информации о звуке. Кроме этого экономически оправданной (по стоимости хранения) альтернативы магнитным лентам до сих пор не найдено. Их информационная емкость также остается вне конкуренции. Например, картридж с лентой нового стандарта SAIT-4 (Super Advanced Intelligent Tape) способен вместить до 4 Тбайт данных без сжатия. Скорость записи/чтения при этом составляет 120 Мбайт/с.

## 9. Недостатки аналоговых магнитофонов

- Одним из основных недостатков современных магнитофонов является большой расход дорогостоящей магнитной ленты, который обусловлен высокими требованиями к качеству звукозаписи. Чем выше скорость движения ленты, тем выше максимальная записываемая частота. Чем шире дорожка записи, выделяемая на ленте под запись одного канала, тем больше отношение сигнал/шум и меньше уровень гармонических искажений;
- Развитие схемотехники обеспечило не критично низкие уровни шумов в электронном тракте (за исключением низкочастотных наводок), но проблемы с магнитной лентой оказались неразрешимы. Природа шумов ленты объясняется неоднородностью ее структуры, существованием агломератов частиц магнитного порошка и микрошероховатостью ее поверхности. Но очень важно, что шум магнитной ленты близок по своему характеру к белому шуму и в большинстве случаев не воспринимается слушателями как раздражающий. Например, ученые-медики присваивают белому и розовому шумам ярко выраженный терапевтический эффект. В тоже время установлено, что шумы,



Рис. 14 – SAIT-картридж Sony SAIT-1 500

вызванные цифровыми искажениями, начинают раздражать слушателей с порога, который ниже уровня маскирующего их белого шума на 20...25 дБ;

- Системы шумопонижения компандерного типа (Dolby, dbx и др.) хотя и увеличивают в значительной степени отношение сигнал/шум, но требуют высокой стабильности параметров канала записи-воспроизведения. К тому же указанные системы приводят к динамическим искажениям резко изменяющихся звуковых сигналов и увеличивают паразитную амплитудную модуляцию – ПАМ полезного сигнала;
- Использование различного рода систем шумопонижения не может устранить влияние модуляционного шума (его уровень у современных лент ниже -60 дБ). Модуляционный шум является разновидностью шумов намагниченного носителя и обусловлен непостоянством контакта лента-головка, поперечными колебаниями ленты, а также неоднородностью магнитного слоя ленты;
- Каждая последующая перезапись аналоговой фонограммы на магнитную ленту увеличивает искажения приблизительно в полтора раза и ухудшает отношение сигнал/шум. С другой стороны, технология цифровой перезаписи также не является абсолютно безошибочной. Например, потери в оптическом тракте, в некоторой степени восстанавливаемые кодом Рида-Соломона, могут достигать 20%, а нестабильность фазы цифровых отсчетов дополнительно снижает качество фонограммы;
- В результате намагничивания соседних витков в рулоне записанной магнитной ленты возникает копирэффekt. Его величина зависит от уровня записи и частоты сигнала, а также от температуры воздуха, срока хранения и толщины магнитной ленты. Однако копирэффekt проявляется достаточно медленно, и путем периодической перемотки рулонов с лентой его влияние можно значительно ослабить.



*Рис. 15 – Производство магнитной ленты на заводе компании TDK*

## 10. Выводы

Опыт показывает, что для достижения цифровыми форматами лучших показателей аналоговой записи еще предстоит решить большое количество проблем. Главная из них заключается в том, чтобы теоретически обосновать и экспериментально подтвердить особенности психоакустического восприятия оцифрованного стереозвука. На основании этого необходимо выработать новые методики измерений, позволяющие объективно оценить качество цифровых каналов звукозаписи.



*Рис. 16 – Портативный кассетный магнитофон Sony TC-D5 ProII*

Таким образом, на сегодняшний день наиболее совершенной технологией для хранения стереофонических фонограмм остается аналоговая магнитная запись. Несмотря на массу специфических недостатков, именно этот формат максимально бережно относится к сохранению характеристик, ответственных за естественность звучания (передачу направлений и глубину локализации звуковых образов в пространстве).

Аналоговая технология в максимальной степени соответствует слуховому аппарату человека, адаптированному именно к таким сигналам. Даже вносимые ей искажения воспринимаются как нечто гармоничное и в ряде случаев позволяют маскировать артефакты цифровых источников при перезаписи фонограмм.

## 11. Замечания 2018 года

*Эта статья была написана более 12 лет назад. За прошедшее время ситуация с магнитной записью звука предсказуемо усложнилась. И хотя рассмотренные выше вопросы сохраняют свою актуальность, необходимо сделать несколько замечаний.*

- Существующая аппаратура магнитной записи, созданная на пике популярности данного формата, еще долгое время будет оставаться вне конкуренции для энтузиастов. Более того, сейчас наблюдается возрождение определенного

интереса к аналоговой технике. И здесь важно отметить, что в отличие от современных, одноразовых изделий эта аппаратура является ремонтпригодной. То есть она изначально проектировалась с расчетом на долговечность;

- Возникшие за последнее время сложности с наличием запасных частей и расходных материалов могут быть решены изготовлением специфических деталей на заказ. Также возможно приобретение аналогичной техники для разборки на детали. Конечно, такие комплектующие обойдутся гораздо дороже, но вы будете уверены, что всегда сможете восстановить свою аппаратуру до ее первоначального состояния;
- Сегодня единственным реальным ограничением для дальнейшего использования магнитной записи является отсутствие в свободном доступе качественных носителей. И хотя запасы ранее выпущенных кассет все еще покрывают снижающийся спрос, цены на них постоянно растут. На этом фоне появилось сообщение о том, что французская фирма Recording The Masters возобновила производство магнитной ленты и компакт-кассет по технологиям немецких компаний AGFA и BASF;
- Сохранность магнитных лент, в том числе записанных более 30...40 лет назад, вызывает удивление. Даже без соблюдения специальных условий хранения, эти записи по-прежнему великолепно звучат! И сотрудники архивов, профессионально занимающиеся магнитной записью, это подтверждают – долговременная надежность аналоговых носителей значительно выше, чем любых цифровых!



*Рис. 17 – Полиуретановый прижимной ролик Athap с латунной втулкой и двумя подшпунниками качения*

## **12. Литература**

1. Агеев С. Развитие техники магнитной записи. Исторические заметки // Радио, 1996, №3, стр. 22;
2. Цифровая звукозапись / Под ред. Дж. Маеса и М. Варкаммена: Пер. с англ.- М.: Мир, 2004;
3. Сухов Н. Правда и «сказки» о высококачественном звуковоспроизведении // Радио, 1998, №7, стр. 13;

4. Василевский Ю.А. Практическая энциклопедия по технике аудио- и видеозаписи.- М.: Леруша, 1996;
5. Шитов Ю. Direct Stream Digital: однобитный цифровой формат записи // Звукорежиссер, 1999, №2, стр. 33;
6. Орлов Л. «Лучшее – враг хорошего» DVD-Audio и SACD // Звукорежиссер, 1999, №7, стр. 14;
7. Алдошина И. Физический и психоакустический анализ цифрового звука с высоким разрешением // Звукорежиссер, 2004, №4, стр. 60;
8. Никамин В.А. Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи: Справочник.- СПб.: Корона принт; М.: Альтекс-А, 2003;
9. Севашко А.В. Звукорежиссура и запись фонограмм. Профессиональное руководство.- М.: Альтекс-А, 2004;
10. Angus R. History of magnetic recording // Audio, 1984, №8, р. 27;
11. Sony. Introducing Super Audio Compact Disc.- Japan: Sony Corporation, 1999;
12. The Japan Recording-Media Industries Association. Global Demand and Production: Press Information.- Japan: JRMIA, 2005.



А. Востоков, 2018

*Последняя версия документа находится здесь:*

Оригинал: <http://www.analogaudio.narod.ru/apologia-ru.pdf>