

В. А. Вангесов

*ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова*

*Россия, 196158, Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, e-mail: [editor@ejta.org](mailto:editor@ejta.org)*

## Искажения магнитной записи, обусловленные старением измерительной магнитной ленты

*Получена 10.01.2007, опубликована 09.02.2007*

Магнитная запись часто используется для регистрации сигналов в натуральных условиях. Специальная измерительная аппаратура магнитной записи и измерительные ленты подвергаются порой жестким условиям эксплуатации и хранения. В тоже время уникальность отдельных магнитофильмов требует их длительной сохранности. В работе определены типичные искажения, обусловленные старением измерительных магнитных лент, и их источники при применении различных методов измерительной магнитной записи в судовой акустике. К таким искажениям относятся: уменьшение коэффициента передачи в прямой записи из-за износа рабочего слоя ленты; появление паразитных амплитудной и частотной модуляции сигнала на крайних каналах из-за старт-стопных режимов работы магнитофонов; выпадение сигналов в прямой, ЧМ и цифровой записи из-за адгезионных нарушений в ленте (выкрашивание магнитного порошка). Представлены методики и блок-схема измерительного тракта для оценки качества архивных лент, а также рекомендации, позволяющие снизить выявленные искажения при эксплуатации и хранении лент.

### ВВЕДЕНИЕ

Магнитная запись на протяжении многих лет является средством «консервации» сигналов в натуральных условиях. С развитием техники происходит перераспределение ролей между методами записи. Так, в судовой акустике цифровая аппаратура по мере ее миниатюризации и удешевления начинает составлять конкуренцию аналоговой ЧМ записи в инфразвуковом и звуковом диапазонах, где последняя еще ранее сменила менее точную прямую запись, оставив ей только ультразвуковой диапазон. Однако накопленный богатейший экспериментальный материал на магнитных лентах сохраняется в фонотеках акустических лабораторий. Специалисты отмечают появление искажений в архивных записях, которых первоначально не было. В работе речь идет об искажениях магнитной записи, обусловленных именно старением измерительных лент в жестких условиях эксплуатации и длительного хранения, а также о мерах по их предупреждению и снижению.

## 1. АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ В СУДОВОЙ АКУСТИКЕ

В упрощенном виде ленту можно представить состоящей из полимерной основы и рабочего слоя, который, в свою очередь, является композицией из лака и магнитного порошка. При длительной эксплуатации рабочий слой истирается (ввиду абразивности пары «неподвижная магнитная головка – движущаяся лента»). А при длительном хранении полимерная основа теряет свою гибкость (коробится), лак стареет и сцепление его с магнитным порошком (адгезионная прочность) нарушается, вследствие чего последний начинает необратимо выкрашиваться.

Первым следует отметить фактор абразивного износа рабочего слоя ленты. Так, при использовании приборов последовательного спектрального анализа было обнаружено, что лента в кольцевых адаптерах может истираться до появления прозрачных участков. Но и в настоящее время, несмотря на наличие приборов параллельного спектрального анализа, такое ускорение старения может иметь место, поскольку число видов анализа только возрастает, а ленты становятся все тоньше в целях увеличения их информационной емкости. При абразивном износе ленты уменьшается толщина ее рабочего слоя, что должно сказаться на коэффициенте передачи в прямой записи. При ЧМ и цифровой записи небольшой износ не имеет значения, так как в них применяется запись с насыщением [1].

Следующий фактор, могущий повлиять на точность магнитной записи, обнаруживается визуально при внешнем осмотре архивных лент: примерно у половины лент отмечается не гладкая (как должно быть), а «морщинистая» поверхность рулонов. Это связано с плохой намоткой ленты в процессе обычных для судовой акустики старт-стопных режимов работы магнитофона (при постоянном включении-выключении лентопротяжного механизма лента все время дергается и неровно укладывается в рулоне, а выступающие края в первую очередь подвергаются различным повреждениям и со временем короблению). Такое старение также следует считать преждевременным. Из-за коробления краев ленты ухудшается их прилегание к магнитным головкам, что может привести к увеличению паразитной амплитудной модуляции, и это повлияет не только на прямую, но и на ЧМ запись, так как известно, что мультипликативные помехи из-за дифференцирующего действия головки воспроизведения существенно влияют на шумы ЧМ тракта [2]. В цифровой записи эти помехи не имеют значения, так как для нее важно только распознавание наличия или отсутствия импульса [1].

И, наконец, как известно из практики звукозаписи [3], срок службы магнитных лент завершается с появлением признаков деградации магнитного лака (нарушение адгезии — прочности сцепления лака и магнитного порошка), проявляющейся в выкрашивании последнего и замазывании им магнитных головок. При этом, естественно, в конечном итоге прекращается запись/воспроизведение любого вида. Здесь важно определить характер «адгезионных» искажений в применяемых методах записи.

Приведенный анализ можно обобщить схемой на рис. 1, учитывающей последовательность появления искажений.

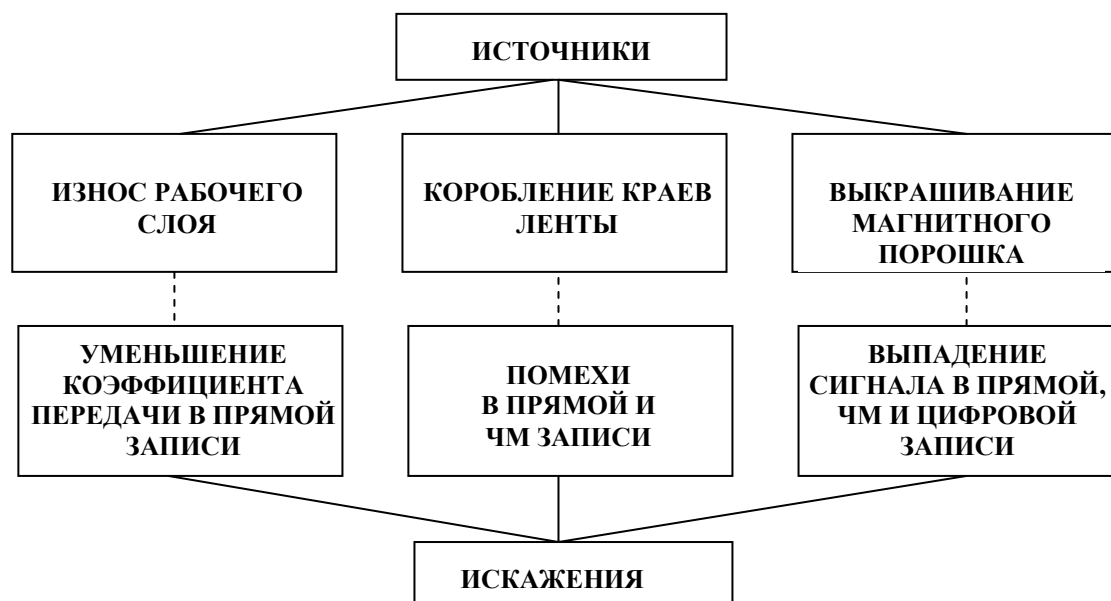


Рис. 1. Искажения магнитной записи, обусловленные старением измерительной магнитной ленты

## 2. БЛОК-СХЕМА ТРАКТА ИЗМЕРЕНИЯ ИСКАЖЕНИЙ И ЕЕ ОБОСНОВАНИЕ

Предложим следующую блок-схему тракта измерений отмеченных выше искажений (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема тракта измерения искажений, обусловленных старением измерительной магнитной ленты

Аппаратура магнитной записи (АМЗ) типа 7005 фирмы Брюль и Кьер (Дания) выбрана для исследований, поскольку это наиболее удачный для судовой акустики вариант измерительного натурного магнитофона, обеспечивающего запись всего частотного диапазона гидроакустических сигналов. Обе скорости применены из тех соображений, что паразитная АМ (ПАМ) больше на малой скорости [4], а адгезионные

нарушения быстрее должны проявиться на большой скорости (так как большее количество ленты пройдет через магнитную головку в единицу времени).

Задействованные одновременно 4 канала позволяют точно зафиксировать момент сбоя работы магнитофона по любому из них из-за адгезионных нарушений; причем использованы оба имеющихся в АМЗ метода записи: прямая запись (ПЗ) и ЧМ запись — для выявления влияния на них как адгезионных нарушений, так и паразитной АМ. По два канала (крайний и средний) выделены на каждый метод для сравнения уровней ПАМ на краях и середине ленты. Для цели, поставленной в работе, достаточно калиброванных сигналов, имеющихся в АМЗ. Сигнал с частотой 1 кГц предусмотрен для исследования изменений коэффициента передачи в прямой записи, «адгезионных» искажений и влияния ПАМ в прямой и ЧМ записи, а высокочастотные сигналы 6 и 60 кГц — для определения в прямой записи максимального уровня ПАМ, которая, как известно [4], возрастает с ростом частоты сигнала.

Четыре вида регистрации позволяют определить наиболее эффективный из них для обнаружения влияния ПАМ и «адгезионных» искажений, вольтметр же расширяет диапазон измерений и делает их более точными по сравнению с индикатором АМЗ, точность которого  $\pm 1$  дБ. В работе в качестве вольтметра использован измерительный усилитель типа 2610 (точность  $\pm 0,2$  дБ в диапазоне 0–50 кГц) и узкополосный спектрометр типа 2031 (точность  $\pm 0,2$  дБ в диапазоне 0–20 кГц) (оба прибора фирмы Брюль и Кьер), а также в качестве индикатора — осциллограф типа С1-93 (Россия).

### 3. УМЕНЬШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ПРЯМОЙ ЗАПИСИ ИЗ-ЗА ИЗНОСА РАБОЧЕГО СЛОЯ ЛЕНТЫ

Не все ленты подвергаются многократным воспроизведениям и здесь важно знать не только величину возможных отклонений коэффициента передачи  $\Delta K_{\Pi}$ , но и примерный процент изношенных лент.

Изменение коэффициента передачи можно определить на калиброванном сигнале частотой 1 кГц при использовании измерительной ленты рекомендованного типа А-797 фирмы Ампекс (США). При записи указанного сигнала на ленту при положении входного аттенюатора 0 дБ и крайнем по часовой стрелке положении потенциометра плавной регулировки усиления показание индикатора прибора (номинальный уровень воспроизведения) должно быть в пределах  $0 \pm 1$  дБ [5]. Износ, естественно, расширяет поле разброса, снижая его нижнюю границу. Верхняя граница показывает максимальное значение  $K_{\Pi}$ , получаемое от данного типа ленты (чистой или малоизношенной).

Было испытано 15 лент случайным образом выбранных из 4-х независимых фонотек. В таблице 1 приведены результаты измерения отклонений коэффициента передачи  $\Delta K_{\Pi}$  от номинала, полученные в режиме прямой записи на скорости 38 см/с.

Таблица 1. Отклонения коэффициента передачи измерительного магнитофона от номинала (допуск  $\pm 1$  дБ) из-за износа измерительных магнитных лент

№ ленты	$\Delta K_{II}$ , дБ	№ ленты	$\Delta K_{II}$ , дБ	№ ленты	$\Delta K_{II}$ , дБ
1	0	6	-4	11	+1
2	-2	7	-1	12	-1
3	-4	8	+1	13	0
4	+1	9	-3	14	-3
5	-3	10	+1	15	+1

Видно, что примерно треть архивных магнитофильмов может иметь существенное снижение уровня записанного сигнала (до 3 дБ).

Здесь следует рекомендовать избегать неоправданных многократных воспроизведений (широко используя, например, параллельный спектральный анализ и компьютерную обработку данных), а также контролировать износ ленты ( $\Delta K_{II}$  должно быть в пределах допуска), для чего отмечать первоначальное значение  $\Delta K_{II}$  для каждой ленты в рабочем журнале.

#### 4. ПОМЕХИ В ПРЯМОЙ И ЧМ ЗАПИСИ ИЗ-ЗА КОРОБЛЕНИЯ КРАЕВ ЛЕНТЫ

##### 4.1. Увеличение неравномерности АЧХ прямой записи из-за паразитной амплитудной модуляции

Несовершенный контакт магнитной головки с лентой приводит к паразитной АМ, причем сигналы с короткой длиной волны записи подвержены более быстрым и сильным флуктуациям, см. рисунок 3.

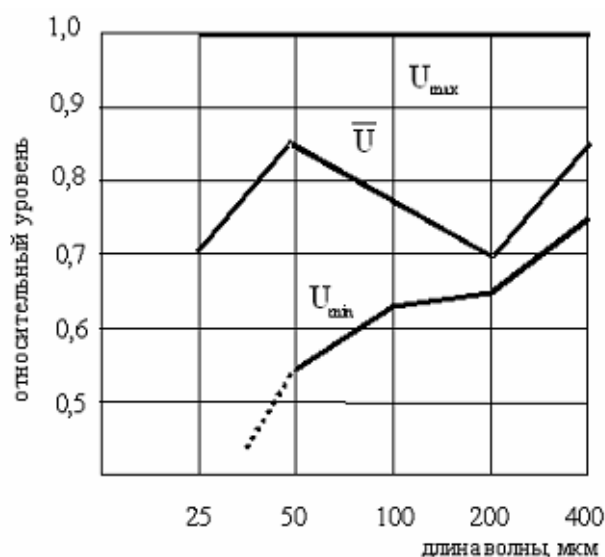


Рис. 3.

Относительные колебания уровня в зависимости от длины волны записи сигнала [1]

$U_{max}$  — максимальный уровень,  
 $\bar{U}$  — уровень превышенный в течение 99% времени,  
 $U_{min}$  — минимальный зарегистрированный уровень

Неустойчивый характер графиков в работе [1] объясняют трудностью эксперимента. Это связано с крайне нестабильным и случайным характером данной помехи. Однако в измерительной АМЗ глубина ПАМ незначительна и даже не приводится в описаниях приборов. В случае же деформированной ленты следует ожидать существенного увеличения ПАМ. Из рисунка видно также, что особенностью паразитной АМ в магнитной записи является то, что истинное значение уровня сигнала есть максимальная амплитуда колебания  $U_{\max}$  (т. е. при нормальном прилегании ленты к магнитной головке), остальные значения могут быть только меньше. Таким образом, при принятом считывании средних значений мы имеем здесь дело не только со случайной, но и с систематической, причем частотнозависимой ошибкой — уменьшенной оценкой уровня сигнала. Первую проще всего определять по вольтметру как среднее арифметическое отклонение амплитуды сигнала от среднего значения, вторая — есть абсолютное значение первой со знаком минус:

$$\Delta U_{\text{ПАМ, случ.}} = \pm \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2},$$

$$\Delta U_{\text{ПАМ, сист.}} = -|\Delta U_{\text{ПАМ, случ.}}|.$$

Измеряют АМ помеху в наихудшем для ее компенсации режиме (наименьшая скорость, наибольшая частота сигнала, начало рулона ленты [4]). В таблице 2 приведены усредненные (в начале, середине и конце рулона) значения флуктуаций уровней сигналов на крайних и средних каналах при использовании ленты рекомендованного типа А-797 с явными признаками коробления краев.

Таблица 2. Случайная ошибка измерения уровня сигнала на средних и крайних каналах при воспроизведении ленты с краевым короблением

Скорость ленты, см/с	$\Delta U_{П\text{АМ}}, \text{случ.}, \text{ дБ}$				
	Канал				
	Средний		Крайний		
	Частота, кГц				
	6	60	1	6	60
38	-	$<\pm 0.25$	$\leq \pm 0.5$	-	$\pm 1.0$
3.8	$<\pm 0.5$	-	$\pm 1.0$	$\pm 2.5^*$	-

\* Отдельные отклонения до – 6 дБ

Если считать ошибку  $\Delta U_{\text{ПАМ, сист.}} \geq -1 \text{ дБ}$  существенной, то таковая возможна именно на крайних каналах и на высоких частотах, а на малой скорости и на средних частотах. Максимальная же ошибка (на малой скорости, на верхней граничной частоте и в начале рулона) доходит до –3 дБ, а отдельные отклонения и до –6 дБ. Здесь следует рекомендовать обязательную качественную и полную перемотку ленты после стартовых режимов записи и воспроизведения особенно перед сдачей ее на хранение.

#### 4.2. Импульсная помеха в ЧМ записи

ЧМ несущая, промодулированная паразитной АМ, из-за дифференцирующего действия головки воспроизведения преобразуется в сигнал с паразитной ЧМ, характеристики которой определяются параметрами мультипликативной помехи [2]. Паразитная АМ от деформированной ленты есть случайный и нестационарный процесс (см. п.4.1), а ЧМ помеха представляет собой шум импульсного характера, см. рис. 4.

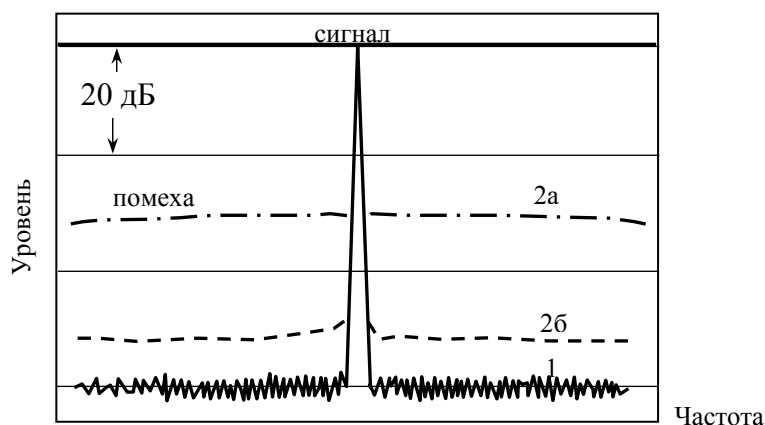


Рис. 4. Измерение уровня импульсной помехи в ЧМ канале, обусловленной паразитной амплитудной модуляцией ЧМ несущей при деформированной ленте  
 1 – ЧМ помеха, обусловленная колебаниями скорости в магнитофоне,  
 2 – ЧМ помеха из-за паразитной АМ: а) максимальный отмеченный и б) минимальный учитываемый уровень помехи

Предложим следующую методику оценки этого искажения. Поскольку минимальная длительность одной записи обычно порядка 1 минуты, то наличие за это время хотя бы одного выброса ЧМ помехи с уменьшением динамического диапазона АМЗ на 10 дБ и более будем считать существенным. В таблице 3 приведены результаты измерения (с помощью анализатора типа 2031 и секундомера) числа выбросов в минуту для той же деформированной ленты, что и в п. 4.1, на крайних и средних каналах в зависимости от скорости магнитофона.

Таким образом, увеличение ЧМ помехи именно на крайних каналах и зависимость ее от скорости является доказательством того, что именно паразитная АМ, обусловленная короблением краев ленты (из-за некачественной намотки при старт-стопных режимах работы магнитофона) приводит к импульсной помехе (в среднем до 3–9 выбросов в минуту) в ЧМ тракте, существенно (на 10–30 дБ) уменьшающей его динамический диапазон.

К рекомендации по п. 4.1 можно добавить, что для важной информации следует использовать в первую очередь средние каналы, оставляя крайние для вспомогательной (голосовые комментарии, контрольные сигналы и т. п.).

Таблица 3. Число выбросов помехи (краткое увеличение помехи на 10–30 дБ) в минуту в ЧМ записи при деформированной ленте на средних и крайних каналах в зависимости от скорости

Скорость ленты, см/с	Число выбросов помехи в минуту	
	Канал	
	Средний	Крайний
38	0	до 2–3
3.8	0	до 4–9

## 5. ИСКАЖЕНИЯ В ПРЯМОЙ, ЧМ И ЦИФРОВОЙ ЗАПИСИ ИЗ-ЗА ВЫКРАШИВАНИЯ МАГНИТНОГО ПОРОШКА

Как было сказано выше, срок службы магнитной ленты заканчивается с появлением признаков нарушения адгезии (для лент звукозаписи он известен и составляет 15–20 лет [3]). Разберемся подробнее в данном явлении. В измерительной АМЗ при прохождении в лентопротяжном механизме лента трется о неподвижные магнитные головки (стирания, записи и воспроизведения). При выкрашивании магнитного порошка он может застревать в зазорах магнитных головок, нарушая их контакт с лентой. Влияние контактных потерь  $\Delta$  наглядно видно на примере воспроизводящей головки, для которой они известны [1]:

$$\Delta = 54.6 \ell / \lambda, \text{ дБ},$$

где  $\ell$  — зазор между лентой и головкой,  $\lambda$  — длина волны записываемого сигнала.

Из формулы видно, что увеличение зазора ( $\ell$ ) приводит к постепенному уменьшению уровня сигнала в прямой записи вплоть до полного его исчезновения, причем, чем выше частота сигнала, тем это происходит скорее. Однако расчетный путь оценки этих искажений вряд ли возможен (из-за сложности определения толщины напыленного магнитного порошка и из-за влияния головок стирания и записи). Гораздо проще измерять уменьшение уровня сигнала вольтметром.

В ЧМ записи, как известно (см., например, [1 и 5]), несущая частота записывается также прямым методом, причем при равном частотном диапазоне с прямой записью она примерно в 5 раз выше верхней граничной частоты ПЗ. Из формулы ясно, что и искажения здесь возникнут значительно раньше, а вот какие они будут по характеристикам не очевидно (в работе [2] отмечается только то, что дефекты ленты могут привести к исчезновению воспроизводимого сигнала) и здесь также проще поставить эксперимент.

Что касается цифровой записи, то она появилась относительно недавно. В ней применяются новые специальных типов вычислительные ленты, для которых старение пока не актуально. Однако, априори, можно сказать, что, поскольку для цифровой записи важно только распознавание наличия импульса, записанного с насыщением, то, пока в прямой записи происходит спад уровня сигнала до порога считывания, цифровая запись будет работать без искажений, причем для последовательного цифрового сигнала следует ожидать его практически мгновенного выпадения, а для параллельного (многоканального) этому, видимо, будет предшествовать череда «промахов» в выходных данных (из-за разного времени сбоя в каналах).



Для испытания была выбрана измерительная лента рекомендованного типа А-797 с явными признаками осыпания магнитного порошка (выпадение сигнала происходит с первых метров и секунд). Малая скорость использована для «замедленной съемки» данного явления, а средние каналы — чтобы избежать влияния паразитной АМ от краевого коробления лент. Кроме общего для ЧМ и прямой записи сигнала частотой 1 кГц, для последней использован также высокочастотный сигнал (6 кГц) для выявления частотной зависимости «адгезионных» искажений.

На рис. 5 показаны «адгезионные» искажения сигналов в ЧМ и прямой записи при выкрашивании магнитного порошка из ленты.

Подтверждается гипотеза о том, что «адгезионные» искажения вызваны прогрессирующей потерей контакта магнитной головки с лентой, что видно на примере прямой записи, где четко прослеживается постепенное уменьшение уровня сигнала, а также частотная зависимость этих искажений. Подтверждается и большая чувствительность ЧМ записи к данным искажениям (выпадение сигнала в ней происходит уже тогда, когда в прямой записи его уровень снизился еще только на 6 дБ). Выявлен также характер искажения при ЧМ записи: по мере замазывания магнитофонных головок магнитным порошком возрастают шумы ЧМ тракта вплоть до полного исчезновения в них сигнала, а затем и самой помехи в результате прекращения процесса записи/воспроизведения (в этом состоит отличие от искажений при деформированной по краям ленте, где помеха «пульсирует», причем только на крайних каналах).

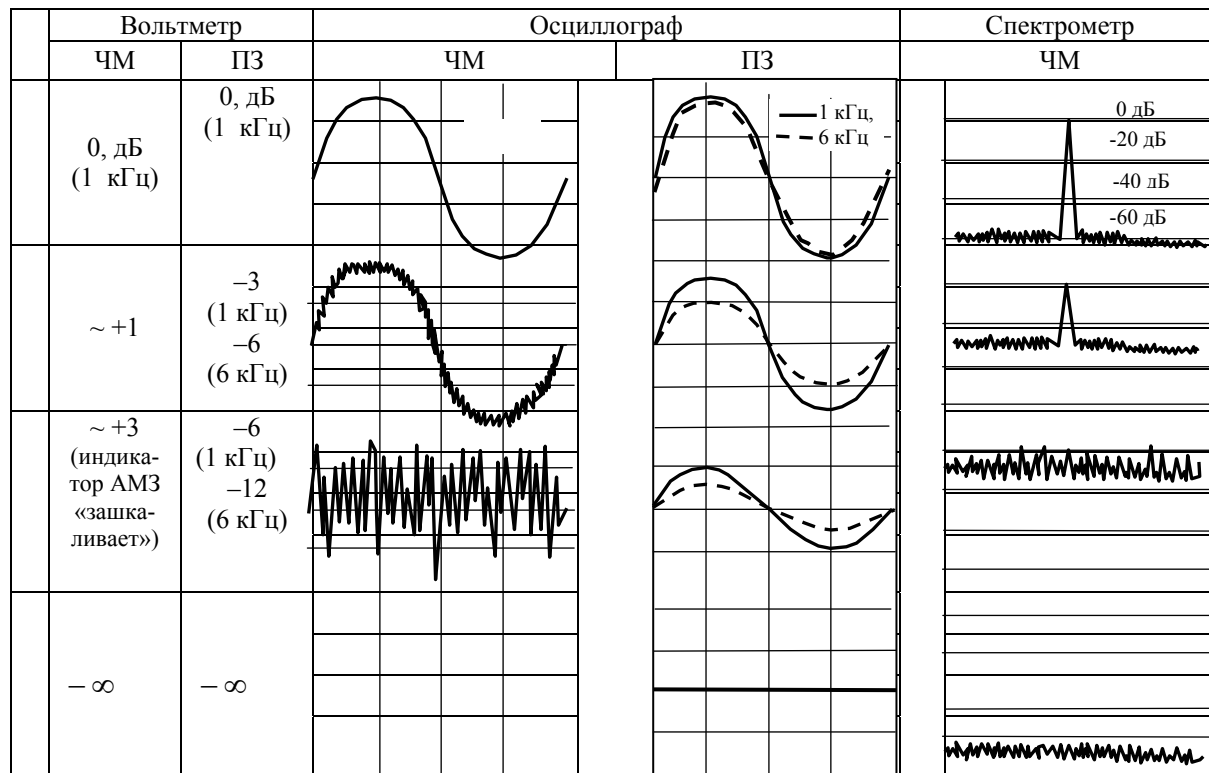


Рис. 5. Различие «адгезионных» искажений в ЧМ и прямой записи

Практика показала, что «адгезионные» изменения возможны у измерительных лент уже через 10 лет со времени их производства. Однако примерно за год до начала появления «адгезионных» искажений можно обнаружить следы напыленного магнитного порошка на белой ткани при чистке спиртом магнитных головок после прохода рулона такой ленты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для сохранения фонотек рекомендуется:

1. Произвести отбраковку магнитофильмов с нарушенной адгезией среди лент старше 10 лет. В дальнейшем ежегодно контролировать адгезионные изменения у реабилитированных магнитофильмов, производя их своевременную перезапись желательно с помощью цифровых методов, поскольку аналоговая перезапись ведет к дополнительным искажениям [3].
2. Оценить и учитывать при анализе сигналов искажения, обусловленные износом рабочего слоя и краевым короблением основы измерительных лент.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дэвис Г. Л. Применение точной магнитной записи. М.: Энергия, 1967.
2. Гордеев Л. С., Фридман А. А. Аппаратура точной магнитной записи с частотной модуляцией. М.: Энергия, 1978.
3. Мазо Я. А. Магнитная лента. М.: Энергия, 1975.
4. Корольков В. Г. Испытания магнитофонов. М.: Энергия, 1965.
5. Измерительный магнитофон типа 7005. Инструкция по эксплуатации. Брюль и Кьер, 1983.