

УДК 621.377.6:681.327

Г. Н. РОЗОРИНОВ, д-р техн. наук, професор;
 МАСУД МАХДЖУБИАН, аспірант,
 Государственный университет телекоммуникаций, Киев

Современные цифровые накопители на магнитной ленте — детище нанотехнологий

Внедрение оптических и нанотехнологий в изготовление накопителей на магнитной ленте позволило существенно улучшить их эксплуатационные характеристики и укрепить позиции в иерархической структуре запоминающих устройств большой емкости. Как это ни парадоксально, но снижение стоимости жестких дисков и развитие конкурентных методов хранения информации (магнитооптика, CD, DVD, Flash и т. п.) лишь стимулировало работу по совершенствованию накопителей на магнитной ленте, и они по-прежнему остаются лучшим решением для хранения больших объемов данных.

Ключевые слова: магнитная лента; поверхностная плотность записи; цифровые накопители; форматы записи; нанотехнологии.

ВВЕДЕНИЕ

Прошло уже 115 лет с того времени (1899 г.), как датчанин Вольдемар Поульсен изобрел и запатентовал аппарат магнитной записи, названный им Telegraphone. Несмотря на то, что запись на магнитную ленту (МЛ) была первой технологией, внедренной в компьютерную промышленность в 50-х годах XX века, быстро развиваться она стала лишь с 1980-х годов. Как это ни парадоксально, но снижение стоимости жестких дисков и развитие конкурентных методов хранения информации (магнитооптика, CD, DVD, Flash и т. п.) лишь стимулировало работу по совершенствованию накопителей на магнитной ленте (НМЛ), и они по-прежнему остаются лучшим решением для хранения больших объемов данных [1].

Внедрение оптических и нанотехнологий в изготовление НМЛ позволило существенно улучшить их эксплуатационные характеристики и укрепить позиции НМЛ в иерархической структуре запоминающих устройств большой емкости.

Запись, используемую в НМЛ, можно разделить на три вида:

- 1) наклонно-строчная запись (спиральная запись — *helical scan*);
- 2) продольная запись (линейная запись — *linear*);
- 3) продольно-серпантинная запись (серпантинная запись — *linear serpentine*).

В свою очередь, каждый вид записи можно разбить на ряд подвидов в соответствии с реализующими эти форматы устройствами, которые часто не совместимы друг с другом.

НАКЛОННО-СТРОЧНАЯ ЗАПИСЬ

1950-е годы характеризовались резким подъемом мировой телевизионной промышленности. Ежегодно фиксировалось десятикратное увеличение числа телевизоров. Существовавший в то время формат продольной магнитной записи на ленту хорошо подходил для записи звука, но совершенно не удовлетворял нужды видеоиндустрии. В 1956 г. компания Ampex предложила для хранения видео использовать наклонно-строчную запись, при которой информационные дорожки располагаются под углом к продольной оси МЛ (*helical scan*).

Наклонно-строчная запись характеризуется, с одной стороны, высокой емкостью, а с другой — низкой скоростью. Все устройства, реализующие этот формат, используют одинаковый

механизм транспортирования МЛ. Однако они могут отличаться по типу и ширине МЛ, количеству и плотности размещения дорожек, особенностям механизма транспортирования ленты, а также по ряду других характеристик.

Схема блока записи-воспроизведения, используемого при наклонно-строчной записи, изображена на рис. 1.

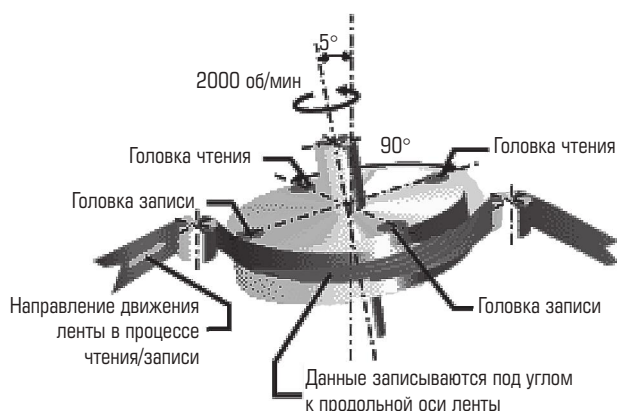


Рис. 1. Блок головок наклонно-строчной записи-воспроизведения

МЛ протягивается от подающей катушки к приемной, частично охватывая цилиндрический барабан (обычно угол охвата составляет 90°), на котором смонтированы по две головки записи и воспроизведения. Головки каждой пары располагаются напротив друг друга по диаметрам, пересекаясь под углом 90° . Ось цилиндра наклонена по отношению к продольной оси ленты на угол $6^\circ 22' 59,5''$. Сам цилиндр в зависимости от типа устройства вращается с частотой от 2000 до 11500 об/мин. Лента движется со скоростью от 23,8 до 47,6 мм/с, однако поскольку одновременно записывается большое число дорожек, эффективная скорость достигает более 2,5 м/с.

Digital Audio Tape / Digital Data Storage

Появление аппаратов цифровой записи звука системы DAT (*Digital Audio Tape*) считается революцией в бытовой электронике, сродни появлению цветных телевизоров [2]. Технические требования к формату DAT были сформулированы Комитетом по изучению DAT, который заседал в июле 1985 г. в Японии.

В Комитете обсуждались два формата записи. Один из них, **R-DAT**, основывается на использовании вращающейся магнитной головки. Другой формат, который получил название **S-DAT**, предусматривает использование многодорожечной неподвижной головки.

В 1989 г. компаниями Hewlett-Packard и Sony был разработан вариант формата R-DAT, названный **DDS (Digital Data Storage)**, который позволял применять DAT для записи данных на МЛ. В картриджах DDS используется МЛ той же ширины — 3,81 мм, однако для обеспечения длительного и надежного хранения требования к ней были повышены.

Записываемые по диагонали короткие дорожки (их длина обычно в восемь раз превышает ширину ленты) содержат код коррекции ошибок **ECC (Error Correction Code)**. Вторая головка формирует дорожки под углом 40° по отношению к первой (головки наклонены под углами ±20°), поэтому даже в случае перекрытия дорожек они могут быть правильно воспроизведены. С помощью головки воспроизведения выполняется проверка записи, и в случае обнаружения ошибки осуществляется перезапись.

Каталог файлов хранится в начале ленты или в специальном файле на жестком диске. При восстановлении данных программа сначала полностью воспроизводит каталог, затем лента перематывается к нужному участку, и содержимое поступает в буфер контроллера. Для проверки целостности данных контроллер использует **CRC (Cyclic Redundancy Check) код**. Если данные воспроизведены правильно, то содержимое буфера передается в системную память и записывается на жесткий диск.

В настоящее время встречаются четыре модификации этого формата — **DDS-1, DDS-2, DDS-3 и DDS-4**, отличающиеся качеством магнитного покрытия ленты, ее длиной, скоростью транспортирования и плотностью записи данных, которая определяется способом записи.

Модификации **DDS-3 и DDS-4** используют способ записи **PRML (Partial Response Maximum Likelihood)**, т. е. способ парциального кодирования и декодирования по методу максимального правдоподобия (по Витерби) [3]. Дополнительных по отношению к DDS-3 16 Гбайт сжатых данных в модификации DDS-4 удалось добиться за счет увеличения длины ленты и уменьшения шага дорожек с 9,1 до 6,8 мкм. Однако развитие этого формата уже прекратилось. Например, компании Hewlett-Packard и Seagate отказались от разработки следующей версии — DDS-5.

MammothTape

Формат записи на МЛ шириной 8 мм заимствован из видеотехники. В середине 1980-х годов группа инженеров из *Storage Technology Corporation (STC)* обратила внимание на то, что домашние видеосистемы содержат все необходимое для хранения данных. В 1985 г. они покинули STC и основали компанию Exabyte, с целью разработки НМЛ высокой емкости. Работая совместно с Sony, производящей механические компоненты, Exabyte выпустила в 1987 г. первое устройство наклонно-строчной записи для Unix-систем на восьмимиллиметровой ленте. Однако использование тон-вала и прижимного ролика приводило к повышенному износу ленты. В 1994 г. компания создала новый вариант аппарата наклонно-строчной записи

MammothTape, разработанный специально для компьютерного использования. Он отличался от других подобных устройств рядом улучшений. В частности, был устранен тон-вал и реализован более щадящий ленту механизм ее транспортирования (рис. 2).

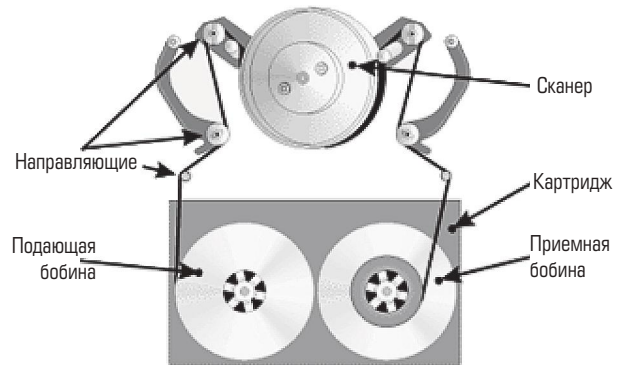


Рис. 2. Аппарат наклонно-строчной записи MammothTape

Это, в свою очередь, позволило применять для записи более тонкие и чувствительные магнитные материалы, а именно, ленту типа **AME (Advanced Metal Evaporated)**, разработанную Sony специально для записи данных. В итоге удалось достичь 30-летнего срока эксплуатации картриджа. Динамически очищаемые головки увеличили период чистки с 30 до 72 часов.

НМЛ **Mammoth-1** имеет по две диаметрально установленные головки воспроизведения и записи (рис. 3), вмещает 20 Гбайт несжатых данных и обеспечивает скорость записи на ленту 3 Мбайт/с.

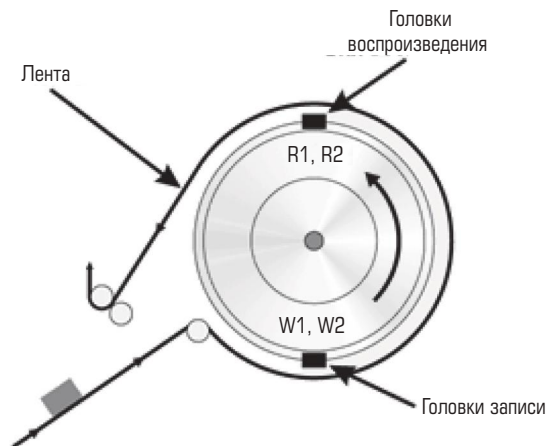


Рис. 3. Блок головок наклонно-строчной записи MammothTape

Более поздняя модификация НМЛ **Mammoth-2** отличается улучшенной конструкцией блока вращающихся головок. На нем установлены взаимно перпендикулярно две пары диаметрально размещенных головок воспроизведения и записи (рис. 4).

При этом операции записи и воспроизведения (проверки данных) осуществляются одновременно. В случае обнаружения ошибки перезапись выполняется сразу с помощью второй пары головок. Это позволяет достичь суммарной скорости передачи данных 12 Мбайт/с. Картридж вмещает 60 Гбайт несжатых данных. Способ записи основан на модифицированном способе PRML. Устройства **Mammoth-3** спо-

собны записувати 120 Гбайт несжатых данных при скорости 18 Мбайт/с.

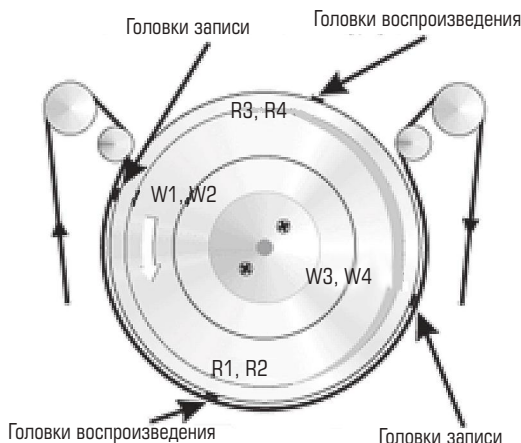


Рис. 4. Модифицированный блок головок записи-воспроизведения Mammoth-2

Advanced Intelligent Tape

Аппараты **AIT** (*Advanced Intelligent Tape*) были разработаны в 1996 г. компанией Sony с целью обеспечить поддержку приложений, интенсивно оперирующих с большими объемами данных. Ряд нововведений, таких как более прочная и тонкая лента, улучшенный рабочий слой, новая технология головок и микросхема памяти, встроенная в картридж **MIC** (*Memory-In-Cassette*), позволили получить высокопроизводительное устройство большой емкости и с очень низкой частотой ошибок, весьма подходящее для ленточных библиотек и роботизированных хранилищ данных [4].

Для сжатия данных AIT использует разработанную IBM технологию **ALDC** (*Advanced Lossless Data Compression*) — разновидность алгоритма **LZ1** (*Lempel-Ziv 1*) в классе алгоритмов, впервые предложенных Абрахамом Лемпелем (*Abraham Lempel*) и Якобом Зивом (*Jacob Ziv*) в 1977 г. ALDC обеспечивает сжатие данных с коэффициентом 2,6:1 против типичного 2:1 для других технологий. В MIC хранится служебная информация, которая обычно размещается в первых сегментах ленты. Она включает в себя индексы, указывающие расположение файла на ленте, и поля данных, позволяющие приложениям записывать некоторую дополнительную информацию. Поскольку устройство способно самостоятельно выявить месторасположение искомого файла, отпадает необходимость воспроизводить идентификационные маркеры во время движения ленты. В результате поиск информации ускоряется примерно в 150 раз по сравнению со скоростью записи-воспроизведения. Еще одна особенность AIT заключается во встроенном механизме для очистки головок *Active Head Cleaner*, который включается только при появлении большого количества ошибок. Следовательно, необходимость такой операции определяется самим устройством, а не его регламентом.

Объявленная Sony программа развития устройств семейства AIT предусматривала удвоение скорости передачи данных и емкости каждые два года. Первые устройства **AIT-1** появились в 1996 г. Они позволяли сохранять в одном картридже 25 Гбайт несжатых данных и обеспечивали скорость записи 3 Мбайт/с. Второе поколение устройств — **AIT-2** — запоздало и появи-

лось только через три года. Как и было обещано Sony, емкость картриджа и скорость записи удвоились. Это стало возможным благодаря усовершенствованиям способа записи, схемы кодирования, конструкции лентопротяжного механизма, а также технологии изготовления головок записи *Hyper Metal Laminate*. Новые головки обеспечили более высокий уровень сигнала, что позволило на 50% повысить плотность записи. Емкость MIC была увеличена вдвое (до 64 кбайт), а с помощью дополнительной информации среднее время доступа сократилось до 20 с по сравнению со 100 с для других технологий.

Емкость картриджа устройств 3-го поколения — **AIT-3** — составляет 100 Гбайт несжатых (260 Гбайт сжатых) данных, а скорость записи — 12 Мбайт/с (31 Мбайт/с) (рис. 5).



Рис. 5. Конструкция аппарата AIT

Удвоение скорости передачи достигается за счет увеличения числа каналов до четырех. Устройство поддерживает интерфейс Ultra SCSI 160.

НМЛ **AIT-4** обеспечивает увеличенные на 100% объем и скорость записи. Это стало возможным, в частности, благодаря использованию магниторезистивных головок, которые позволили довести толщину дорожки записи до 2,75 мкм.

Компания Hewlett-Packard производит НМЛ — AIT 35 (4/8* Мбайт/с; 35/70* Гбайт), AIT 50 (6/12* Мбайт/с; 50/100* Гбайт) и AIT 100 (12/24* Мбайт/с; 100/200* Гбайт). Носитель — картридж AIT 95 × 63 × 15 мм; старшие модели могут воспроизводить и записывать картриджи младших моделей.

В планах Sony — выпуск устройств **AIT-5** (48/96* Мбайт/с; 400/800* Гбайт) и AIT-6 (96/192* Мбайт/с; 800/1600* Гбайт). Кроме того, Sony разработала новый НМЛ Super-AIT и заявила о намерении производить НМЛ SAIT-1 (30/60* Мбайт/с; 500/1000* Гбайт), SAIT-2 (60/120* Мбайт/с; 1/2* Тбайт), SAIT-3 (120/240* Мбайт/с; 2/4* Тбайт) и SAIT-4 (240/480* Мбайт/с; 4/8* Тбайт).

Variable-Speed Architecture

В связи с жесткой конкуренцией в сфере запоминающих устройств большой емкости НМЛ должны обеспечивать более высокие показатели надежности, производительности и емкости при меньшей цене. Именно этими соображениями руководствовались основатели корпорации Esrix, создавая фактически с нуля новый формат хранения данных на ленте (1999 г.), который позволил бы устранить стоимостные ограничения и невысокую надежность ленточных устройств.

В НМЛ с линейной или наклонно-строчной записью применяется так называемый **поточковый метод** (*streaming*). В потоковых НМЛ дорожки, содержащие тысячи байт данных, воспроизводятся за один проход воспроизводящей головки. В процессе потоковой записи необходимо точно отслеживать положение ленты относительно привода, чтобы головка была точно ориентирована по отношению к дорожке, при этом скорость перемещения ленты должна быть постоянной. Чтобы обеспечить совмещение магнитной головки и дорожки данных на ленте, необходимы прецизионные механизмы транспортирования и жесткий контроль за положением ленты. Это снижает надежность и повышает стоимость устройства.

Как известно, потоковые НМЛ рассчитаны на постоянную скорость ленты и постоянную скорость передачи данных. Однако в действительности данные редко принимаются или передаются на строго определенной и неизменной скорости. Дело в том, что они, как правило, пересылаются неравномерно, и в результате скорость передачи становится нестабильной. При каждом перерыве в потоке данных НМЛ останавливает ленту, отматывает ее назад, снова разгоняет до номинальной скорости и только после этого продолжает воспроизведение или запись данных. Эта последовательность операций называется **обратным захватом** (*backhitching*). Такая ситуация складывается, когда скорость поступления данных из базовой системы ниже быстродействия записывающего механизма.

Имеется много причин, которые не позволяют предоставлять НМЛ данные на скорости, в точности соответствующей его номинальному быстродействию. Вот лишь некоторые из них: перегрузка сети или загруженность процессора, мешающая поддержке соответствующей скорости доставки данных. В этом случае НМЛ опустошает буфер записи и останавливается, ожидая поступления новых данных. Если затем начать запись с текущего места, без обратного захвата, на ленте останется пустое пространство, не содержащее данных, — участок, промотанный вхолостую для разгона до номинальной скорости. В итоге лента будет расходоваться очень неэкономно.

Частые захваты существенно снижают производительность передачи данных и увеличивают время резервного копирования и восстановления при сбоях. Кроме того, такой процесс существенно снижает надежность хранения данных, так как резкие изменения направления движения ленты ускоряют ее износ. Истертые ленты сокращают время службы магнитных головок и становятся источником частиц и пыли, которые, в свою очередь, ускоряют износ механизма НМЛ.

Производительность потоковых НМЛ зависит от **геометрии дорожек** с данными: от их формы по длине носителя, от угла между дорожками и краем ленты, а также от расстояния от дорожек до края ленты. Дорожка может легко искривиться из-за деформации ленты, поскольку она представляет собой чрезвычайно длинную полосу намагниченного материала, несущего данные и расположенного на тонкой полимерной основе. Если дорожка искривлена или ее угол отличается от угла следа воспроизводящей головки, то возникают ошибки воспроизведения данных. Существует множество причин, по которым геометрия дорожки может сильно измениться. В обычных условиях наклон или изгиб дорожек вызывается флуктуациями температуры, влажности и натяжения в лентопротяжном механизме, а также износом и накопленными частицами.

Изменения в геометрии дорожек — далеко не единственный фактор, влияющий на принципиальную возможность воспроизведения лент. Хорошо известно, что различия в конструкции механизмов НМЛ иногда не позволяют воспроизводить данные с аналогичной ленты, записанной на другом устройстве. Сложность конструкции и очень узкие рамки допустимых отклонений существенно влияют на **совместимость записи** на идентичных накопителях. В процессе работы и с течением времени ориентация головок может измениться, что также снижает надежность длительного хранения данных и совместимость лент.

В формате записи **VXA** (*Variable-Speed Architecture*) данные воспроизводятся и записываются пакетами. Это наиболее надежный и простой способ передачи данных, заимствованный из телекоммуникаций. Кроме того, формат VXA предусматривает многократное сканирование записанных данных в процессе их воспроизведения. НМЛ формата VXA подстраивается под реальную скорость передачи данных, что устраняет операции обратного захвата. Таким образом, исключаются факторы, приводящие к задержкам записи-воспроизведения, а также преждевременному износу ленты и механизмов. Такая конструкция НМЛ проще и значительно дешевле, чем конструкция потоковых устройств.

В формате VXA впервые объединены дискретный пакетный формат **DPF** (*Discrete Packet Format*), работа на разных скоростях **VSO** (*Variable Speed Operation*) и многократное сканирование **OSO** (*OverScan Operation*).

Перед записью на ленту последовательности данных разбиваются на небольшие части, или пакеты. При этом применяются оригинальные алгоритмы воспроизведения после записи, чтобы удостовериться, что данные действительно записаны на ленту. Пакет данных состоит из 64 байт пользовательских данных, маркера синхронизации, информации об уникальном адресе, циклического избыточного кода CRC и кода исправления ошибок ECC. Каждая дорожка на ленте содержит 387 пакетов данных, которые записываются и воспроизводятся с применением специального буферного сегмента.

В процессе воспроизведения все четыре головки сканируют ленту, и воспроизведенные ими пакеты данных передаются в буферный сегмент (рис. 6).

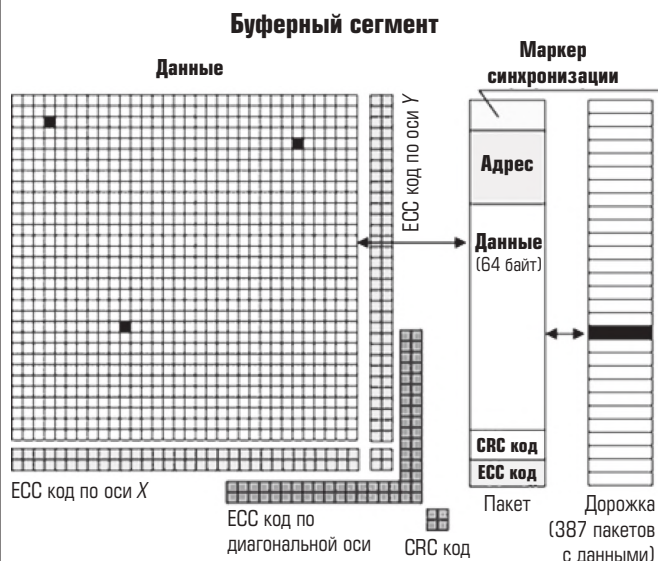


Рис. 6. Схема восстановления пакетов данных с МЛ

Каждый пакет имеет уникальный адрес, по которому буферный сегмент восстанавливает правильную последовательность пакетов, независимо от порядка, в котором они воспроизводились. Безошибочно воспроизведенные при первом проходе пакеты остаются в буфере. Другие пакеты воспроизводятся за последующие проходы и добавляются до тех пор, пока не будет восстановлена вся последовательность данных.

В формате VXA применяется выполняемая в два этапа четырехуровневая процедура исправления ошибок. Во-первых, каждый пакет содержит ECC код исправления ошибок Рида–Соломона (*Reed–Solomon*), который позволяет устранять ошибки, обычно вызываемые шумом или фазовыми сдвигами. Во-вторых, при сборке пакетов в буферном сегменте они размещаются в узлах матрицы, в которой для исправления ошибок применяется трехмерный ECC код Рида–Соломона (по осям X, Y и по диагонали).

Такая схема позволяет исправлять до двух ошибочных пакетов в каждой строке, столбце и диагонали буферного массива. Таким образом, вероятность появления ошибочного бита снижается в VXA до 10^{-17} .

Режим переменной скорости **VSO** позволяет устранить обратные захваты, задержки и вызванный захватами износ ленты. С устранением захватов снижается и скорость износа механизма накопителя.

При использовании формата VXA скорость МЛ как бы подстраивается под скорость поступления данных. В случае прерыва в передаче данных механизм останавливается и переходит в так называемый режим готовности к дальнейшей работе. Отсутствие захватов и режим готовности в VXA позволяют сократить время архивирования и восстановления данных. Например, время перехода НМЛ VXA из режима готовности в рабочее состояние составляет 25 мс, что почти в 80 раз меньше, чем максимальная длительность обратного захвата (в отдельных случаях ее значение достигает 2 с) в потоковом устройстве (рис. 7).



Рис. 7. Сравнение режимов работы накопителей на МЛ — потокового и VXA

Благодаря режиму так называемой мягкой остановки при переходе в режим готовности в НМЛ VXA снижается износ МЛ. В потоковых НМЛ лента останавливается, отматывается назад, снова останавливается, а затем разгоняется до номинальной скорости (рис. 8).

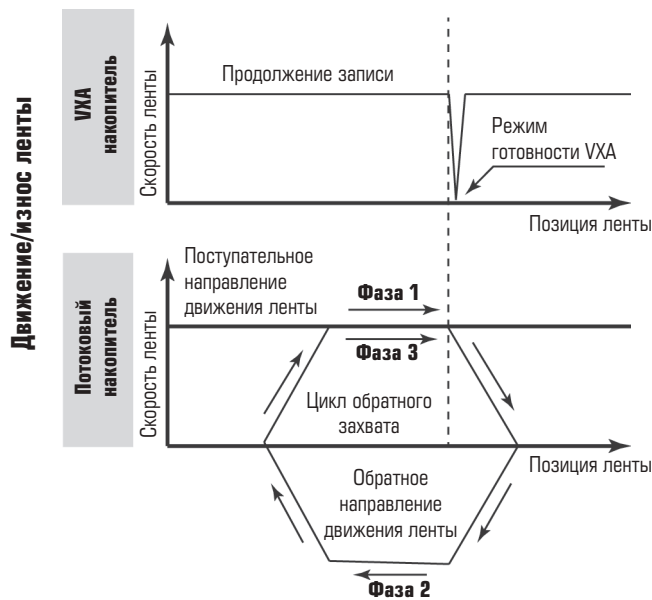


Рис. 8. Переход в режим готовности накопителей на МЛ — потокового и VXA

НМЛ VXA, напротив, не изменяет направление движения МЛ. Лента останавливается, ожидает поступления очередных данных, а затем начинает движение, причем запись осуществляется с того места, где произошла остановка.

Многократное сканирование **OSO** устраняет ставшую неизбежной для ленточных механизмов необходимость совмещения дорожек и головок. Для нормальной записи или воспроизведения данных в потоковых устройствах на МЛ требуется обеспечить постоянную скорость ленты относительно головок в механизмах линейной записи или фиксированный угол дорожек в устройствах наклонно-строчной записи.

При замедлении МЛ отдельные ее части воспроизводятся несколько раз. Многократное сканирование позволяет неоднократно воспроизводить МЛ с физическими повреждениями, такими как нарушение угла наклона дорожки или дефект рабочего слоя МЛ, и восстанавливать данные с помощью устройства контроля ошибок.

Во время работы НМЛ две пары вращающихся головок записывают на ленту два перекрывающихся набора дорожек. Первая головка в каждой паре записывает данные, а вторая проверяет их целостность, выполняя «воспроизведение после записи» **RAW (Read-After-Write)**. При вращении магнитные головки движутся по одной и той же траектории. Первая головка записывает дорожку на пустой ленте, а вторая воспроизводит только что записанные данные. Далее первая головка записывает следующую дорожку, и процесс повторяется. За один оборот барабана НМЛ VXA записывает пары идентичных пакетов под различными углами. Кроме того, выполняется так называемая запись с нулевым допуском **ZTW (Zero Tolerance Write)**, которая гарантирует надежное сохранение данных на ленте. При этом

вторая (закрывающая) головка воспроизводит только что записанные пакеты — так же, как и при выполнении RAW. Если с помощью ECC кода обнаруживается пакет с ошибками, то НМЛ VXA записывает такой пакет повторно.

При воспроизведении данных в формате VXA используются все четыре головки. В этом случае пакеты воспроизводятся многократным сканированием, причем гарантируется, что каждый из них воспроизводится по крайней мере один раз. Геометрия дорожек и их наклон не существенны, ведь процедура воспроизведения пакетов от этих параметров не зависит. Такой подход исключительно эффективен для обеспечения совместимости VXA накопителей.

Возможна ситуация, когда дорожка смещена и совмещение со следом магнитной головки практически невозможно. В таком случае потоковый накопитель, пытаясь воспроизвести данные, осуществляет обратный захват и зачастую безвозвратно теряет данные с ленты. В VXA пакеты с данными размещаются в буфере по мере воспроизведения магнитными головками. Далее в буфере восстанавливается правильный порядок этих пакетов, а данные передаются системе. Следовательно, достигается высокая совместимость НМЛ.

Формат VXA позволяет создавать принципиально новые устройства со значительно более привлекательным соотношением цена/производительность и находить более надежные решения для профессиональных приложений класса предприятия, а также способствует экономии средств.

НМЛ VXA, максимальная емкость картриджей для которых достигает 66 Гбайт (с компрессией 2:1), предлагаются в вариантах с интерфейсами SCSI-2 Single-Ended (SE), Ultra2 Wide SCSI (LVD/SE) и даже FireWire (IEEE1384).

Версия НМЛ **VXA-1** позволяет записывать данные со скоростью до 6 Мбайт/с. Емкость буфера данных — 4 Мбит. Конструктивно приводы могут быть выполнены как встраиваемые или внешние устройства (рис. 9).



Рис. 9. Вариант внешнего НМЛ VXA-1

Для них используется три типа носителей: V6 с оригинальной емкостью 12 Гбайт (24 Гбайт с компрессией), V10 — 20 (40) Гбайт и V17 — 33 (66) Гбайт при длине МЛ соответственно 62, 107 и 170 м. Для сжатия данных используется также алгоритм ALDC. Среднее время безотказной работы НМЛ достигает 300 тыс. часов. На МЛ наносится специальное покрытие *AME (Advanced Metal Evaporated)*, которое увеличило срок ее службы до 30 лет, причем за это время МЛ может выдержать 20 тыс. проходов. Стандартный DDS носитель выдерживает только 2 тыс. проходов.

Поскольку даже 66 Гбайт данных для многих пользователей недостаточно, то в активе у Esch имеются устройства типа VXA RakPak, AutoPak и AutoRak. В частности, **RakPak** — это

версия НМЛ VXA-1 для размещения в стандартной 48-сантиметровой стойке. Блок высотой 1U включает в себя два НМЛ VXA-1; таким образом, общая емкость устройства достигает 132 Гбайт, а скорость передачи данных составляет 12 Мбайт/с. НМЛ VXA-1 совместимы практически с любыми операционными системами, в частности с Windows, Linux, Novell, UNIX, OS/2 Warp и MacOS. Большинство операционных систем автоматически распознают эти НМЛ без специальной настройки.

AutoRak — это блок высотой 2U, представляющий собой автозагрузчик (*autoloader*) для стоечных систем, работающий с десятью картриджами. Максимальная емкость достигает 660 Гбайт.



Рис. 10. Вариант VXA устройства типа AutoPak

Вариант **AutoPak** имеет максимальную емкость (с компрессией) до 1980 Гбайт (рис. 10).

При использовании двух НМЛ VXA-1 данное устройство представляет собой мини-библиотеку **RAIL (Redundant Arrays of Independent Libraries)**, оперирующую с 20 картриджами.

Версия НМЛ **VXA-2** имеет емкость 80 Гбайт и скорость обмена данными до 10 Мбайт/с.

ПРОДОЛЬНАЯ ЗАПИСЬ

Quarter-Inch-Tape Cartridge/Travan

Кассетные НМЛ формата **QIC (Quarter-Inch-Tape Cartridge/Travan)** были выпущены компанией 3М в 1972 г. для нужд телекоммуникаций. Вскоре эти недорогие накопители стали использоваться в компьютерной технике, в частности в автономных персональных компьютерах. Со временем формат был модифицирован — появились разновидности продольной записи с новыми свойствами. Например, вариант формата **Travan** стал попыткой обеспечить наряду с повышенной емкостью обратную совместимость с более ранними форматами **QIC**. Хотя устройства QIC и Travan уже не используются, технологии продольной записи продолжают совершенствоваться.

Scalable Linear Recording

В 1996 г. компания Tandberg Data ASA предложила формат **SLR (Scalable Linear Recording)** для записи на МЛ шириной 6,35 мм. Используется полностью закрытый картридж с массивным металлическим основанием и установленными внутри подающей и приемной катушками (рис. 11).



Рис. 11. Вариант SLR НМЛ

Обе катушки приводятся в движение специальным ремнем. Картридж имеет лишь небольшое окошко для контакта головки записи-воспроизведения с МЛ и ролик, который сообщается с приводным ремнем внутри картриджа и с тон-валом привода. Таким образом, лентопротяжный механизм имеет минимальное количество движущихся частей (головка и тон-вал), а следовательно максимальную надежность конструкции.

Многоканальная тонкопленочная магниторезистивная головка закреплена не жестко, а подвешена при помощи магнитной катушки наподобие диффузора громкоговорителя. На МЛ при изготовлении наносятся специальные синхродорожки, которые всегда воспроизводятся при ее движении (как при записи, так и при воспроизведении), а сервосистема на основе воспроизводимого синхросигнала постоянно корректирует положение магнитной головки по высоте. Кроме того, головка записи-воспроизведения имеет дополнительный рабочий зазор, который позволяет воспроизводить только что сделанную запись, образуя сквозной канал записи-воспроизведения. Использование сервосистемы позволяет существенно (до 192) увеличить количество дорожек на ленте, не прибегая ни к каким другим приемам.

Начиная с модели **SLR100** для записи используется способ **Variable Rate Randomizer** — один из вариантов PRML, разработанный компанией Overland Data специально для устройств продольной записи. Все эти усовершенствования способствовали увеличению как объема несжатых данных (50 Гбайт), так и скорости записи (10 Мбайт/с). Компания Tandberg весьма высоко оценила потенциал своего формата, обещая предоставить емкость до 800 Гбайт на картридж и скорость записи до 13 Мбайт/с.

НМЛ SLR имеют меньшую стоимость, чем DDS-4, и младшие модели могут быть использованы в системах начального уровня, где обычно применяют устройства DDS.

Advanced Digital Recording

С появлением в 1980-х годах CD-ROM многие предрекали закат НМЛ. Однако новые исследования и технологии позволили НМЛ спокойно выдержать натиск оптических накопителей. Тем не менее появление в 1999 г. новой компании OnStream с форматом **ADR (Advanced Digital Recording)** продольной записи на 8-миллиметровую ленту стало до некоторой степени неожиданным. Компания OnStream была выделена из электронного гиганта Philips специально для разработки формата ADR. К основным инновациям формата ADR можно отнести:

- встроенные в МЛ средства сигнализации о положении головки — сервосигнализация (*buried servo signaling*);
- многоканальная запись;
- переменная скорость обмена данными;
- повышенная надежность записи.

Сервосигнализация позволяет головке точно отслеживать движение МЛ, что дает возможность значительно повысить плотность размещения дорожек. Помимо этого, сервосигнализация используется для обеспечения целостности данных.

Известно, что магнитное покрытие ленты намагничивается относительно высокочастотным информационным сигналом только в тонком (примерно 10% толщины) поверхностном слое. Если в этом же рабочем слое записывать сигнал более

низкой частоты, то он проникает на большую глубину, и поверх него может быть записан информационный сигнал, т. е. в этом случае в рабочем слое ленты сосуществуют два сигнала, располагающиеся в разных слоях. Более низкочастотный сервосигнал представляет собой ряд синусоидальных волн, записанных поперек ленты (рис. 12).

Встроенная сервосигнализация

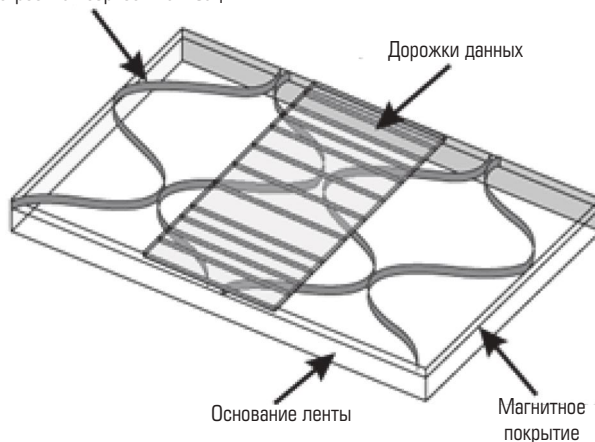


Рис. 12. Взаимное расположение записанных на МЛ сигналов

Фазы четных и нечетных волн сервосигнала отличаются на 180° . Информационные дорожки пересекают синусоиды в точках, находящихся в противофазе, так что суммарный сигнал равняется нулю. При смещении головки воспроизводимая разность сервосигналов пропорциональна смещению, а направление смещения определяется фазой сервосигнала.

Другим нововведением формата является **восьмидорожечная тонкопленочная магниторезистивная головка**. Запись и воспроизведение восьми дорожек одновременно позволяют снизить скорость движения МЛ, сохранив производительность. В свою очередь, низкая скорость МЛ уменьшает трение и генерируемую теплоту, потребление энергии, уровень шума и износ МЛ.

Наилучшая производительность НМЛ достигается в том случае, когда поток информации не прерывается. Это условие выполняется при низких скоростях обмена, когда компьютер в полной мере успевает обработать и доставить данные НМЛ. В потоковых НМЛ скорость движения МЛ постоянна, и в случае десинхронизации обмена МЛ приходится останавливать. **Формат ADR позволяет непрерывно изменять скорость МЛ и скорость обмена** от 0,5 до 2 Мбайт/с (для несжатых данных), согласуя их со скоростью обмена данными компьютера.

Что касается **обеспечения целостности данных**, то большинство НМЛ используют метод «воспроизведение в процессе записи» **RWW (Read-While-Write)**. В формате ADR это реализуется с помощью соответствующих головок воспроизведения. Сервосигнализация позволяет устройствам ADR на лету определять дефектные участки МЛ. Участок, на котором пропадает сервосигнал, отмечается как дефектный, а запись возобновляется только при восстановлении сервосигнала. Более того, в НМЛ ADR используется код контроля ошибок как для горизонтальных, так и для вертикальных дорожек. В результате обеспечивается очень низкая вероятность ошибки 10^{-19} .

В НМЛ ADR следующего поколения (**ADR2.60IDE**) количество дорожек на МЛ было увеличено вдвое (вместо 192 стало 384), емкость картриджа достигла 60 Гбайт сжатых данных, а скорость записи — 5 Мбайт/с. Компания OnStream не сомневается в том, что НМЛ ADR как по цене, так и по функциональным возможностям являются оптимальным решением для серверов начального уровня.

ПРОДОЛЬНО-СЕРПАНТИННАЯ ЗАПИСЬ

Этот формат записи на МЛ отличается от продольной записи тем, что операции записи-воспроизведения выполняются как при прямом, так и при обратном движении МЛ.

Digital Linear Tape

Формат записи **DLT** (*Digital Linear Tape*) разработала в середине 1980-х годов компания DEC (*Digital Equipment Corporation*) для своих знаменитых компьютеров MicroVAX. Первые коммерческие устройства появились в 1989 г., а в 1994 г. права на формат перешли к компании Quantum. НМЛ **DLT** имеет уникальный лентопотяжный механизм, минимизирующий контакт МЛ с направляющими роликами и головкой (рис. 13).

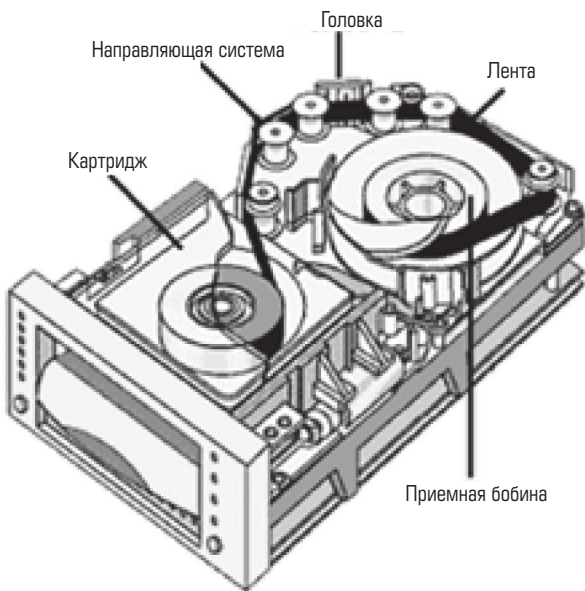


Рис. 13. Конструкция лентопотяжного механизма DLT

В НМЛ применяется двухмоторная система, управляемая компьютером, что позволяет с высокой точностью регулировать скорость движения МЛ для оптимизации операций записи-воспроизведения. Данные записываются по всей длине МЛ шириной 12,7 мм на параллельных дорожках, которые группируются в пары. При достижении конца МЛ головки устанавливаются в новую позицию, после чего выполняется запись в противоположном направлении. На МЛ размещается 128 или 208 дорожек. При записи используется метод **SPR** (*Symmetric Phase Recording*), с помощью которого данные на смежных дорожках размещаются под разными (обычно $\pm 20^\circ$) углами (рис. 14).

Четырехканальная система записи-воспроизведения позволяет получить скорость обмена данными 5 Мбайт/с для несжатых данных. Достоверность информации обеспечивается

кодами, контролирующими ошибки, а именно, кодом Рида-Соломона для каждых 64 Кбайт пользовательских данных, 64-битовым CRC и 16-битовым EDC.

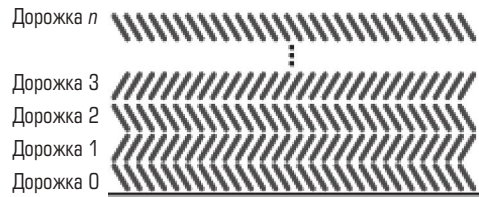


Рис. 14. Расположение дорожек на МЛ при записи методом SPR

Информация о данных хранится в самом начале ленты и считывается в память после установки картриджа. Изменение этой информации происходит в памяти устройства до тех пор, пока картридж не будет выгружен и буферные данные не будут записаны на ленту. Такой способ работы требует больше времени на операции загрузки и выгрузки МЛ из устройства, но позволяет очень эффективно использовать НМЛ при работе с большим количеством отдельных файлов. Информация о данных на МЛ сохраняется при потере или сбое питания и записывается на МЛ при его восстановлении. Формат записи на ленту позволяет очень быстро позиционироваться по архивам.

Большую емкость НМЛ формата **DLT** определяют три фактора. Во-первых, DLT использует МЛ шириной 12,7 мм. Во-вторых, его картридж почти вдвое больше по сравнению с 4- и 8-миллиметровыми. В-третьих, МЛ практически полностью заполняет картридж, состоящий из одной катушки, в отличие от 4- и 8-миллиметровых устройств, которые имеют две катушки (причем одну пустую). НМЛ DLT предоставляет вторую катушку, которая подхватывает конец МЛ.

Размеры DLT-картриджа следующие: длина — 10,6 см; ширина — 10,5 см; высота — 2,5 см. Длина хранимой в нем МЛ может варьироваться от 363 до 554 м. На корпусе картриджа имеется специальная защелка, предотвращающая случайную запись на МЛ. Обычно используются три типа окрашенных в разные цвета картриджей: DLTtape III — серый, DLTtape IIIXT — белый, DLTtape IV — черный.

Технологические усовершенствования в НМЛ **DLT8000** позволили увеличить его емкость до 40 Гбайт (80 Гбайт со сжатием), а скорость передачи данных довести до 6 Мбайт/с (12 Мбайт/с). Эти накопители полностью совместимы с НМЛ DLT4000 и DLT7000, в которых используются картриджи DLTtape IV. Кроме того, НМЛ DLT8000 может воспроизводить и записывать картриджи DLTtape III и DLTtape IIIXT.

НМЛ **DLT** предназначены для интенсивного использования в сетях среднего размера. Среднее время безотказной работы **MTBF** (*Mean Time Between Failure*) при полной нагрузке составляет около 200 000 часов. Ресурс блока головок не превышает 30 000 часов, а долговечность МЛ довольно высока — более 1 млн проходов. Однако следует помнить о том, что для заполнения DLT-картриджа требуется около 50 проходов, тогда как для 8-миллиметрового только один. И все же для своих МЛ фирма Exabyte гарантирует 1500 проходов.

Одним из недостатков НМЛ **DLT** является высокая потребляемая мощность. Устройствам AIT требуется в среднем 12, Mammoth — 15, а DLT — 35 Вт.

В 1998 г. компания Quantum реализовала новый формат записи **Super DLT (SDLT)** в НМЛ **DLT220N**, который включил в себя целый ряд новшеств, в частности:

- оптически управляемую магнитную запись **LGMR (Laser Guided Magnetic Recording)**;
- оптическое слежение за дорожкой **POS (Pivoting Optical Servo)**, являющееся ядром LGMR и объединяющее магнитную запись высокой плотности с лазерной системой позиционирования головок;
- кластерные магниторезистивные головки **MRC (Magneto Resistive Cluster heads)**;
- усовершенствованный способ записи **ERP (Enhanced Partial Response)**, представляющие собой модифицированный вариант PRML;
- технологию изготовления металлопорошковой ленты **AMP (Advanced Metal Powder)**.

Объединение оптической и магнитной технологий позволило добиться качественно нового результата. Данные в **SDLT** записываются на одной стороне МЛ, а сигналы слежения за дорожками — на обратной. Это дает возможность не только очень точно позиционировать головки и соответственно повысить поперечную плотность записи, но и на 10–20% увеличить емкость МЛ. Поскольку серводорожки (три) нанесены на МЛ еще в процессе ее производства, то не требуется переформатирование МЛ. Сервосигналы вырабатываются известным методом трех лучей. Так как оптический способ слежения является бесконтактным, то удастся надежно отслеживать как перпендикулярные, так и поперечные колебания МЛ во время ее движения. Помимо этого система **LGMR** хорошо защищена от случайных внешних воздействий.

SDLT имеет внутреннее микропрограммное обеспечение, которое управляет интерфейсом (SCSI), контролем ошибок, сжатием данных, скоростью ленты, форматированием данных.

В одном картридже первой модели **DLT220N** хранится 110 Гбайт данных без сжатия (220 Гбайт со сжатием), а скорость передачи данных достигает 11 Мбайт/с (22 Мбайт/с со сжатием). Поперечная плотность записи 35,3 дор/мм. Максимальная скорость по шине SCSI в пакетном режиме — 80 Мбайт/с. Среднее время наработки на отказ при 100%-ной нагрузке составляет 250 000 часов.

SDLT обеспечивает обратную совместимость с НМЛ DLT8000, DLT7000, DLT4000 и картриджами типа DLTtape IV.

Linear Tape Open

В области НМЛ постоянно шла и идет необъявленная война форматов. Все описанные ранее форматы являются патентованными, а это препятствует здоровой конкуренции. Для того чтобы изменить в какой-то степени сложившуюся ситуацию, компании Hewlett-Packard, IBM и Seagate Technology разработали открытый для всех формат продольной (продольно-серпантинной) записи — **LTO (Linear Tape Open)**. Новый формат позволяет создавать устройства с различными функциональными возможностями и техническими характеристиками, работающие и на отдельном сервере, и в сложных сетевых средах, как с приложениями, где требуется быстрый доступ к данным, так и с теми приложениями, для которых более важным является их объем. Исходя из этих соображений, были предло-

жены две реализации формата LTO: **Accelis**, предназначенная для приложений, требующих быстрого доступа к данным, и **Ultrium** — для хранения больших объемов информации [4].

Несмотря на различия этих двух вариантов реализации, каждый из них содержит все ключевые особенности формата **LTO**. Что же касается самих особенностей, то в формате сделана попытка воплотить все лучшее из того, что наработано для устройств продольно-серпантинной записи.

Прежде всего увеличено число каналов записи-воспроизведения. Первая генерация LTO предусматривала 8 каналов, а в дальнейшем их число возросло. Улучшены также сервосистемы и конструкции магнитных головок, что обеспечивает точное их позиционирование и высокую плотность записи. Целостность данных поддерживается надежным логическим форматом, который включает в себя алгоритм сжатия и сигнал на основе *dk* — ограниченного кода. Реализована динамическая перезапись данных, записанных на дефектных дорожках. Картридж содержит встроенную память **LTO Cartridge Memory — LTO-CM**. Наконец, записываемые блоки данных точно индексируются с помощью кодирования продольного положения на серводорожках. Это позволяет выполнять быстрый поиск новых блоков, упрощая обнаружение ошибок и восстановление данных.

С целью максимального использования магнитной поверхности формат **LTO** предусматривает разбиение МЛ на узкие зоны дорожек для записи. Число этих зон зависит от реализации формата: для **Ultrium** оно равно четырем, тогда как для **Accelis** — двум. Блок МГ покрывает одну зону и заполняет ее последовательно. Сверху и снизу каждой зоны располагаются сервополосы, информация в которых используется сервосистемой для управления положением блока головок.

Реализация формата **Accelis** — это быстрота доступа. Конструкция устройства направлена на обеспечение минимального времени доступа к данным, жертвуя при этом их объемом. МЛ сужена до 8 мм, соответственно количество дорожек уменьшено до 256, а длина ленты равна 216 м. Это позволяет разместить 25 Гбайт несжатых данных, при скорости обмена 10 Мбайт/с.

Картридж содержит две бобины (**Ultrium** — одну). Поскольку тракт МЛ полностью находится внутри картриджа, он может вставляться в НМЛ без предварительной перемотки в начало. Как следствие — среднее время поиска составляет менее 10 с. Формат **Accelis** был реализован в системе IBM Magstar MP 3570, но при решении реальных задач не смог показать преимуществ перед **Ultrium**, и его производство было прекращено.

Реализация формата **Ultrium** — это решение проблемы больших объемов. Данный формат предоставляет большую емкость и высокую скорость обмена. Первое поколение НМЛ LTO позволяло записывать 100 Гбайт несжатых данных на одном картридже, при этом скорость обмена составляла 20 Мбайт/с. Сам картридж содержал 600 м МЛ шириной 12,7 мм. Блок головок записи-воспроизведения сконструирован таким образом, чтобы записываемые данные сразу же проверялись. При заполнении одной зоны МЛ блок головок перемещается, и запись производится в следующей зоне.

Устройства **Ultrium** поставляются сегодня на рынок такими, в частности, компаниями, как Hewlett-Packard, IBM и Seagate (рис. 15).



Рис. 15. Накопители LTO формата Ultrium

Накопители и носители информации **LTO** различных производителей совместимы между собой с учетом поколения. Формат **LTO** регламентирует совместимость процесса воспроизведения на два поколения назад, а процесса записи на одно поколение назад.

Отметим, что уже в 2010 году использовался формат Ultrium LTO 5-го поколения (LTO-5). НМЛ **LTO-5** обеспечивает запись на одну кассету 1,5 Тбайт несжатых данных, что условно соответствует 3 Тбайт при аппаратном сжатии (табл. 1).

Это связано с тем, что для первых пяти поколений предполагается средний коэффициент сжатия 2:1, а для 6–8-го поколений — 2,5:1.

В НМЛ формата **LTO** используются картриджи типа **RW** (Read/Write) — МЛ для воспроизведения и записи, типа **WORM** (Write Once, Read Many) — картриджи со специальной электронной схемой, допускающей только однократную запись и многократное воспроизведение, а также чистящие картриджи **UCC**, совместимые со всеми устройствами, для проведения технического обслуживания НМЛ (рис. 16).

Лента внутри картриджа LTO наматывается на одну катушку, являющуюся при установке картриджа подающей. На конце ленты закреплен специальный концевик (рис. 17), который используется НМЛ для надежного захвата ленты и фиксации ее на приемной катушке, находящейся внутри накопителя.

Таблица 1

Основные параметры НМЛ LTO различных производителей

Параметр	Поколения							
	LTO-1	LTO-2	LTO-3	LTO-4	LTO-5	LTO-6	LTO-7	LTO-8
Год появления	2000	2003	2005	2007	2010	План	План	План
Физическая емкость	100 Гбайт	200 Гбайт	400 Гбайт	800 Гбайт	1,5 Тбайт	3,2 Тбайт	6,4 Тбайт	12,8 Тбайт
Максимальная скорость, Мбайт/с	15	40	FN:80 NN:60	FN:120 NN:80	180	270	315	472
Поддержка WORM	Нет	Нет	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Поддержка шифрования	»	»	Нет	»	»	»	»	»
Поддержка разбиения на разделы (partitioning)	»	»	»	Нет	»	»	»	»
Толщина ленты, мкм	8,9	8,9	8,0	6,6	6,4			
Длина ленты, м	609	609	680	820	846			
Количество дорожек	384	512	704	896	1280			
Количество головок	8	8	16	16	16			
Количество проходов на полосу	12	16	11	14	20			
Линейная плотность, бит/мм	4880	7398	9638	13300	15143			
Способ записи	(1,7)	PRML	PRML	PRML	NPML			



а



б

Рис. 16. Внешний вид (а) и устройство (б) картриджа Ultrium LTO-2



Рис. 17. Концевик на ленте картриджа Ultrium LTO-2

Каждый картридж LTO содержит специальный встроенный чип **LTO-CM** (Cartridge Memory) (рис.18). В 1–3 поколениях этот чип предоставляет доступ к 128 блокам памяти, по 32 байта каждый, то есть к 4096 байтам. В **LTO-4** его емкость увеличена до 8192 байт. Данные памяти могут считываться или записываться поблочно при помощи специального бесконтактного RFID-считывателя. Содержимое памяти используется для идентификации лент и для опознавания НМЛ поколения LTO.

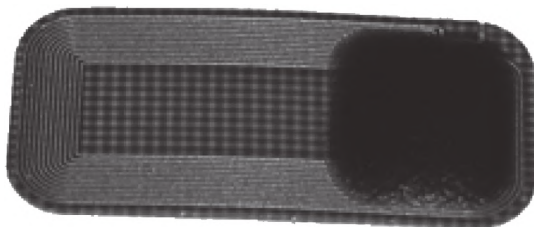


Рис. 18. CM — чип, встраиваемый в картриджи LTO

Каждый НМЛ LTO содержит считыватель для **LTO-CM**. При этом выпускаются как внешние считыватели, для использо-

вания в составе ленточных библиотек, так и автономные считыватели. Некоторые из них средствами LTO-CM позволяют временно заблокировать доступ к данным на картридже до ввода разрешающего доступа ключа, что может использоваться, например, при перевозке картриджей с конфиденциальной информацией.

Цвета картриджей LTO Ultrium стандартизированы большинством производителей, чтобы легко визуально отличать различные поколения (табл. 2).

Заключение

История накопителей на магнитной ленте насчитывает уже более полувека, но и сегодня, когда речь идет о дешевом (в пересчете на один мегабайт) и надежном резервировании, а также о безопасном хранении больших объемов данных, современным ленточным накопителям никакие другие устройства не могут составить конкуренцию.

Литература

1. **Никамин, В. А.** Цифровая звукозапись. Технологии и стандарты. / В. А. Никамин.— СПб.: Наука и техника, 2002.— 247 с.

2. **Цифровая звукозапись: руководство по CD, мини-дискам, SACD, DVD(A), MP3 и DAT** / Пер. с англ. Дж. Маес, М. Веркамен.— 4-е изд.— М.: Мир, 2004.— 350 с.

3. **Zining, Wu.** Coding and iterative detection for magnetic recording channels / Wu Zining.— Kluwer Academic Publishers, 2000.— 159 p.

4. **Розорінов, Г. М.** Сучасні магнітні накопичувачі для систем обробки акустичної інформації / Г. М. Розорінов, О. В. Брягін, О. В. Неня // Реєстрація, зберігання і обробка даних.— 2003.— Т. 5, № 3.— С. 91–105.

Таблица 2

Цвета картриджей LTO Ultrium различных производителей

Производитель	УСС	LTO-1	LTO-2	LTO-3	LTO-4	LTO-5
Официально подтвержденные консорциумом LTO производители						
EMTEC	Черный	Черный	Пурпурный	—	—	—
FujiFilm	—	Черный	Пурпурный	Серо-синий	Зеленый	—
HP	Оранжевый	Синий	Темно-красный	Желтый	Зеленый	—
IBM	Черный	Черный	Пурпурный	Серо-синий	Зеленый	—
Imation	—	Черный	Пурпурный	Сине-серый	Зелено-синий	—
Maxell	Серый	Черный	Пурпурный	Сине-серый	Зелено-синий	—
Quantum	Черный	Черный	Пурпурный	Синий	Зеленый	Кирпичный
Sony	—	Черный	Пурпурный	Серый	Зеленый	—
Tandberg	Серый	Черный	Пурпурный	Сине-серый	—	—
TDK	Серый	Черный	Пурпурный	Сине-серый	Сине-зеленый	—
Другие производители						
Overland	—	—	—	—	Зелено-синий	—
RPS	—	Черный	Пурпурный	—	—	—
StorageTek	—	—	Пурпурный	—	Зеленый	—
Verbatim	—	Черный	Пурпурный	Сине-серый	—	—

Г. М. Розорінов, Масуд Махджубіан

СУЧАСНІ ЦИФРОВІ НАГРОМАДЖУВАЧІ НА МАГНІТНІЙ СТРИЧЦІ — ДІТИЩЕ НАНОТЕХНОЛОГІЙ

Упровадження оптичних і нанотехнологій у виготовлення нагромаджувачів на магнітній стрічці дозволило істотно поліпшити їхні експлуатаційні характеристики та зміцнити позиції таких нагромаджувачів у ієрархічній структурі запам'ятовувальних пристроїв великої ємності. Хоч як це парадоксально, але зниження вартості жорстких дисків і розвиток конкурентних методів зберігання інформації (магнітооптика, CD, DVD, Flash тощо) лише стимулювало роботу з удосконалення нагромаджувачів на магнітній стрічці, і вони, як і раніше, залишаються найкращим вирішенням для зберігання великих обсягів даних.

Ключові слова: магнітна стрічка; поверхнева щільність запису; цифрові нагромаджувачі, формати запису; нанотехнології.

G. N. Rozorinov, Masoud Mahjoubian

MODERN DIGITAL STORES ON MAGNETIC TAPE — BRAINCHILD OF NANOTECHNOLOGIES

An optical and nanotechnologies introduction in making of stores on a magnetic tape allowed substantially to improve their operating descriptions and infix the positions in the hierarchical structure of large capacity data storages. However paradoxical it is, but decline of cost of hard disks and development of competition methods of information storage (magneto-optics, CD, DVD, Flash and so on), only stimulated work on perfection of magnetic tape stores and they still remain the best decision for storage of large volumes of information.

Keywords: magnetic tape; surface bit density; digital stores; formats of recording; nanotechnologies.

УДК 681.518.2

О. В. ШУЛЬГА, канд. техн. наук, доцент,

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОСОБЛИВОСТІ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ КОСМІЧНИХ АПАРАТІВ: ПРИНЦИПИ РЕАЛІЗАЦІЇ НАЗЕМНИХ РТС ДЛЯ ЗАВДАНЬ УПРАВЛІННЯ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ

Проаналізовано особливості систем ідентифікації космічних апаратів (КА) і розглянуто класифікацію сучасних комплексів ідентифікації КА, які реалізують головне завдання ідентифікації — максимально ефективно використання здобутої інформації. Визначено перспективний напрямок радіоінтерферометричного вимірювання космічних об'єктів із застосуванням сигналів неконтрольованих випромінювань бортової апаратури, що несуть траєкторну та ідентифікаційну інформацію про КА.

Ключові слова: космічний апарат; наземний автоматизований комплекс управління; система контролю та аналізу космічної обстановки; ідентифікація; наземна РТС; канал зв'язку; зона видимості.

Вступ

Особливості географічного положення та територіальні обмеження визначили необхідність використання в наземному автоматизованому комплексі управління (НАКУ) однопунктової технології управління космічними апаратами (КА), згідно з якою завдання ідентифікації космічних об'єктів, що перебувають у зоні видимості радіотехнічних систем (РТС), стає актуальною. Значні витрати на побудову окремої системи для розв'язання цього завдання спонукають створювати апаратні засоби ідентифікації КА, до складу яких з метою забезпечення управління КА залучаються наземні РТС [16; 36; 100].

Дослідження напрямків підвищення якості функціонування систем контролю та аналізу космічної обстановки (СКАКО) передбачає розгляд завдань балістично-навігаційного забезпечення управління КА, а також ідентифікації КА, що містяться в зоні видимості використовуваної РТС.

При розв'язанні завдань, що стосуються забезпечення програми польоту КА, необхідно із Землі постійно вимірювати параметри їхнього руху. Традиційно ці завдання покладено на траєкторні

засоби РТС наземного автоматизованого комплексу управління космічними апаратами.

Мета статті — проаналізувати сучасні методи ідентифікації КА, посилення контролю космічного простору та аналізу космічної обстановки.

Основна частина

Розглянемо класифікацію сучасних комплексів ідентифікації КА (рис. 1) [1].

Аналіз літератури показав, що перевага лазерних і оптичних систем полягає в забезпеченні великої дальності дії, високої роздільної здатності та точності вимірювання координат, із прихованістю в роботі і практичною несприйнятністю щодо різного виду організованих перешкод. Утім залежність від метеоумов роботи та часу доби не дозволяє забезпечувати постійний контроль космічного простору [2; 3].

Існуючі спеціалізовані радіолокаційні системи характеризуються порівняно низькою прихованістю та оперативністю обробки отримуваної інформації. Вони здатні обслуговувати фіксовані зони простору, що призводить до появи так званих дір у полі контролю.