

ЗОВНІШНЯ ПАМ'ЯТЬ

Зовнішню пам'ять утворюють зовнішні (відносно МП та системної плати) пристрої комп'ютера, вона використовується для довготривалого зберігання інформації. Зокрема, в зовнішній пам'яті зберігається все програмне забезпечення комп'ютера. Вона містить різноманітні запам'ятовуючі пристрої. Найпоширеніші – накопичувачі на жорстких та гнучких магнітних дисках (НЖМД та НГМД), призначення яких – зберігання великих обсягів інформації, запис і видача інформації за запитом ОЗП. Як пристрої зовнішньої пам'яті застосовуються також запам'ятовуючі пристрої на касетній магнітній стрічці (стрімери), накопичувачі на оптичних дисках, флеш-пам'ять.

Основа зовнішній пам'яті – електромеханічні запам'ятовуючі пристрої з рухомих носієм інформації, на поверхню якого наноситься магнітний матеріал із властивостями залишкової намагніченості.

Сучасні накопичувачі на жорстких магнітних дисках - (НЖМД) отримали назву “вінчестер” за асоціацією з рушницею калібру 30/30. Такий же самий формат мали перші накопичувачі цього типу – 30 доріжок на 30 секторів.

Габаритні розміри (форм-фактор) сучасних вінчестерів такі:

- горизонтальні — понад 1.8; 2.5; 3.5; 5.25 дюймів;
- вертикальні — Full Height 3.25";

Half-Height 1.63";

Low Profile 1 дюйм

(1 дюйм = 2.54 см).

Механізм вінчестера поміщений у металевий корпус. Кришка вінчестера охороняє його від забруднення, ушкоджень, електромагнітних полів.

Усередині металевої коробочки обертається жорстко закріплений на осі шпindelного двигуна диск або пакет, зібраний з декількох дисків. Кутова швидкість обертання шпindelного двигуна сучасних дисководів така: 5400, 7200, 10000, 12000 обер./хв.

Повітря від надлишкового тиску стравлюється з корпусу через мініатюрний клапан, що дозволяє вирівняти внутрішній і зовнішній тиск. Внутрішні потоки повітря переганяються через фільтр.

У вінчестері є компоненти високоточної (прецизійної) механіки й електронні вузли (рис. 1). Елементи електроніки розташовуються головним чином на знімній платі електроніки. На платі розташовані: контролер інтерфейса, процесор (іноді кілька), ПЗП з програмою керування дисководом, буферна пам'ять, сервоголівка, логіка читання. Певна частина програми керування диском може бути записана на ньому самому.

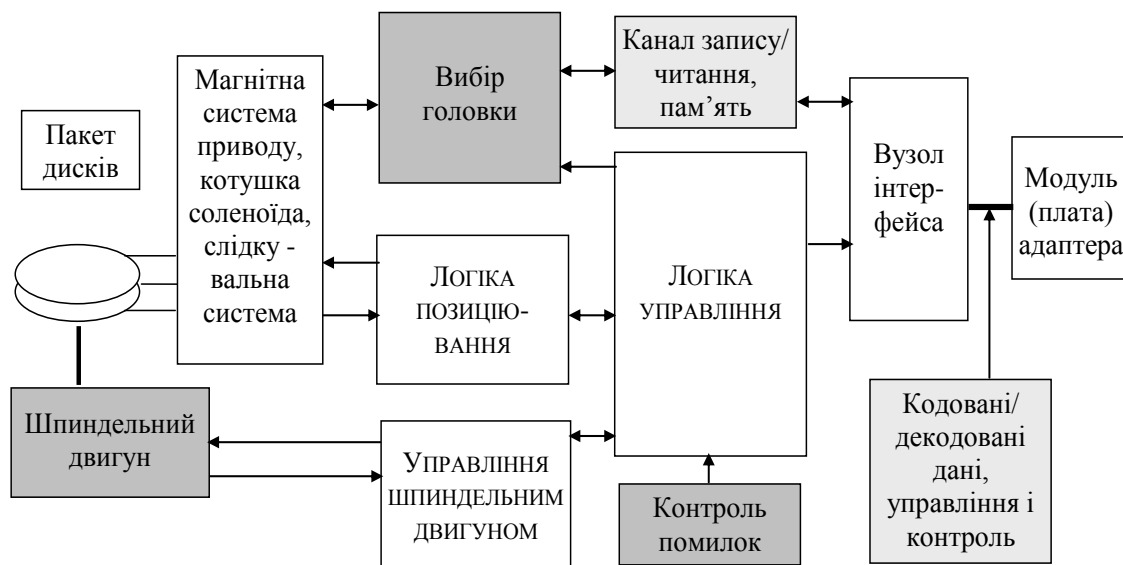


Рисунок 1 - Блок – схема НЖМД

На доріжках (треках) дисків зберігаються дані і службова інформація, необхідна для синхронізації роботи дисководу. Треки - це концентричні кільця, логічно розташовані на поверхні дисків. Одноименні треки всіх наявних у пакеті поверхонь можна простромили уявними циліндрами. Ці «циліндри» використовуються як адреси при звертанні до даних.

Записують дані на диск і читають їх магнітні голівки з дуже малою вагою. Кілька таких голівок об'єднані в блок, керований із загального спеціального центру дисководу – автоматичної сервосистеми, що стежить за розташуванням голівки над заданою доріжкою. Під час позиціювання голівки (тобто послідовного пошуку потрібної доріжки) сервосистема, що стежить, читає цифрову інформацію – серводані, що записані в службові поля синхронізації доріжок диска. Серводані порівнюються з інформацією про місце призначення голівки, отриманої дисководом з контролера.

Цифрова інформація про різницю між номерами того циліндра, де знаходиться голівка, і того, де вона повинна знаходитися, надходить на обробку в так званий контур зворотного зв'язку. Цифровий сигнал у логіці позиціювання перетворюється в аналоговий, а потім виробляється постійний електричний струм певної величини і полярності.

За конструкцією позиціонер може бути соленоїдним або приводом обертання, або лінійним двигуном (рис.2). Лінійний двигун всовує блок голівок у дисковий пакет не по тангенціальній кривій (як це робить привід обертання), а по прямій лінії. Котушка соленоїда позиціонера жорстко з'єднана з блоком голівок. Таким чином, рух котушки з визначеною швидкістю й у визначеному напрямку передається на всі наявні у дисководі голівки.

Завдяки надлишковому тиску, що виникає в граничних областях обертових пластин дисків, створюється аеродинамічний момент піднімальної сили голівок, і вони «плавають» - кожна над своєю поверхнею.

Система, що стежить, постійно інформує логіку позиціювання про те, де розташовуються голівки, і на котушку індуктивності соленоїда увесь час передаються все нові і нові значення величин постійного струму, а тому чим менша їх різниця, тим менший струм і, отже, швидкість руху блоку голівок. Такий пошук від доріжки до доріжки називається поперечним пошуком циліндра.

Може здатися, що голівка «прилипає» до доріжки. Це не так. Потрапивши на трек, голівка постійно прагне до його середньої лінії. Відхиляючись від цієї лінії, вона описує уздовж неї своєрідну синусоїду, а сервосистема, що стежить, миттєво реагує на зміну характеристик сигналу, що викликана таким відхиленням. Формується протифазний сигнал, і блок голівок переміщується в зворотному напрямку. Чим менша неузгодженість, тим точніше настроювання і вищий рівень корисного сигналу.

Системі, що стежить, постійно необхідна інформація про те, у якому циліндрі знаходиться блок голівок; визначається це за допомогою збережених на поверхні диска серводаних.



Рисунок 2 - Будова жорсткого диску

Серводані читаються при позиціюванні окремою голівкою зі спеціальної виділеної сервоповерхні або робочою голівкою зі службового запису (вбудованого сервозапису), що входить у формат сектора доріжки.

У дисководах з високою щільністю запису може використовуватися технологія самосинхронізації NCH (по clock head), що розроблена в ІВМ. Технологія NCH дозволяє замінити дорогий метод формування сервозаписів (servowriting), який вимагає юстировки приладів на заводі-виготовлювачі, використанням спеціального співпроцесора. Такий співпроцесор бере участь у формуванні серводаних і розміщенні їх між сегментами секторів дисків. За допомогою співпроцесора контролюється вирівнювання голівок щодо запису на доріжці при точному позиціюванні блока голівок. Це дозволяє набагато прискорити відстеження позиції голівки щодо запису і коректування її положення позиціонером. Співпроцесор реалізує алгоритм виправлення помилок, що через коливальні процеси час від часу виникають у сервосистемі. Завдяки співпроцесору скорочується обсяг дискового простору, що витрачається на сервозапис.

У сервосистемах високопродуктивних дисководів можна зустріти ще одну розробку фахівців ІВМ - технологію активного демпфірування блоку голівок. Метод цей розрахований на дисководи з високою щільністю запису і швидкістю обертання шпиндельного двигуна більше 7200 обер./хв. Сервосистема дозволяє коректувати положення позиціонера при механічних поперечних флуктуаціях через ряд різних дестабілізуючих факторів, а також уникнути механічного резонансу голівок. Метод цей полягає у використанні спеціального частотного фільтра.

Якщо ним виявлена одна з частот, що включена у таблицю критичних частот, у сервосистему направляється цифровий код, на підставі якого в котушку посилається постійний струм відповідної сили і полярності. Це дозволяє голівці точно розташуватися в межах запису на доріжці.

Оскільки, крім даних на доріжці записана і службова інформація, розрізняють ємність форматowanego (formatted) диска (тобто за винятком зайнятого службовими записами простору) і неформатованого (formatless). Ємність неформатованого диска, природно, більша.

Шпиндельні двигуни приводу НЖМД бувають двофазними або трифазними, до того ж в останніх автоматично регулюється швидкість обертання. Для кріплення шпиндельних двигунів можуть використовуватися гідродинамічні підшипники (fluid dynamic bearing). Ця перспективна технологія, узята з області космічних розробок. У робочих частин гідродинамічного підшипника немає механічних контактів типу метал/метал. Вони розділені не кульками, а спеціальною масляною плівкою, що демпфірує внутрішні і зовнішні коливання, амортизує удари, знижує рівень шуму. Завдяки їй термін служби підшипника необмежений.

Автоматичне керування шпindelним двигуном полягає в регулюванні його швидкості за допомогою *індуктивних датчиків* або *перетворювачів Холу*. Ефект Холу виникає в напівпровіднику, через який протікає струм і який знаходиться в електромагнітному полі із силовими лініями, що перпендикулярні руху струму в напівпровіднику. У цьому випадку на гранях напівпровідника, що перпендикулярні напрямку руху струму, виникає різниця потенціалів і напруга прямо залежить від величини магнітної індукції. На принципі ефекту Холу побудований датчик, що дозволяє перетворити швидкість обертання на валу в постійну напругу керування двигуном.

Керування даними. Канал керування даними включає тракт читання/запису, призначений для обміну кодованими даними між дисковим інтерфейсом, наприклад SCSI або ATA, і дисковою пам'яттю. У тракті читання/запису НЖМД виробляються імпульси струму, що надходять у голівки запису. З кожним таким імпульсом напрямок силових ліній магнітного потоку в зазорі сердечника голівки міняється на протилежний. Це відповідає елементу запису на феромагнітний носій і називається *переходом перемагнічування*.

Всі операції дисковод виконує під керуванням команд, які він одержує від адаптера. Команди керування, які генеруються адаптерами різних інтерфейсів, відрізняються рівнем складності. Наприклад, команди інтерфейса SCSI складніші, ніж команди, що направляються в дисковод адаптером EIDE. Вінчестер декодує команду і послідовно виконує кілька операцій. Він визначає, до якої області дискової пам'яті відбувається звертання, яка операція обміну виконується – запису чи читання.

Логіка вінчестера відповідним чином набудовує тракт запису/читання і систему позиціонування. Потім логіка керування дозволяє позиціонувати блок голівок, а у вузлі керування голівками вибирається та з них, що необхідна. На заключній стадії запису дані з буфера диска через підсилювачі, ланцюги формування і голівку записуються на диску. Читаються всі тією ж голівкою. Дані при цьому пересилаються в зворотному напрямку.

Перш ніж інформація займе своє місце на поверхні магнітного диска, вона кодується в контролері. У сучасних дисководах використовується метод кодування *RLL (Run Length Limited)* - з обмеженням відстані між переходами перемагнічування - або його удосконалений варіант *ARLL (Advanced RLL)*.

Яким чином при кодуванні (декодуванні) логічні одиниці відокремлюються від нулів? Найпростіше кодування полягає в «підмішуванні» до корисного сигналу спеціальних синхросигналів. Під час передачі одиниць додатковий синхроімпульс множить частоту запису на два, а при передачі нуля частота залишається колишньою. Така частотна модуляція з подвоєнням частоти *2FM* і її різновид *MFM (Modified Frequency Modulation)* у вінчестерах уже не застосовується.

RLL - це теж один з типів частотної модуляції, доповнений спеціальним алгоритмом кодування не окремих імпульсів, а цілих груп. Вся інформація, що надходить на обробку в RLL-кодувальник, піддається груповому перекодуванню відповідно до даних зі спеціальної таблиці. Між окремими переходами перемагнічування дуже багато інформаційних інтервалів різної довжини. Тому якість магнітного запису на носій повинна виключати імовірність втрати навіть одного біта.

Цифри поруч з аббревіатурою RLL відображають діапазон надмірності, що вводиться кодом. Наприклад, запис *RLL 8.9* означає, що між двома переходами перемагнічування може бути закодовано від восьми до дев'яти бітів інформації. Чим менший «перепад» цих значень, тим вища потужність сигналу і краща здатність вінчестера зберігати і відновлювати дані.

Завдяки технології запису з кодуванням RLL 8.9 і новій технологічній базі виготовлення дисків з надтонким покриттям і високій *коерцитивності* можна підвищити щільність запису і збільшити ємність дискової пам'яті. (*Коерцитивність* - це здатність речовини зберігати намагніченість при нульовій магнітній індукції.)

Технологія запису і читання інформації. Швидкодія дисководів залежить від швидкості обертання шпинделя, подовжньої і поперечної щільності запису і технологій, що забезпечують точність запису і читання інформації з магнітного носія на всіх етапах. Найнебезпечніша ділянка в цьому ланцюжку — механічна зв'язка *диск - голівка*.

Як підкладку чи *основу* диска вінчестера застосовують круглі поліровані алюмінієві або скляні пластини з золотим, срібним чи нікелевим покриттям. Вінчестер IBM Deskstar 75GXP - приклад накопичувача, диски якого виготовлені зі скляних пластин. Скляні пластини дозволяють одержати високу чистоту поверхні при мінімальних витратах на обробку матеріалу. У результаті, використовуючи сучасні технології запису інформації, на поверхню такого диска можна записувати дані з щільністю 14.3 Гбіт/дюйм².

На основу наноситься найтонший шар зберігання *данух* (*thin film media*), такий, як оксид кобальту або інший *ферромагнетик*. При магнітному записі окремі частки основи утворюють керовані магнітним потоком області намагніченості. Відстань між цими магнітними областями повинна бути якнайменшою: це дозволяє збільшити щільність запису.

Високої щільності запису і прийняттого співвідношення сигнал/шум можна досягти тільки при використанні тонкоплівного покриття товщиною близько 1 мкм. Крім того, носій повинний володіти високою *коерцитивністю* матеріалу.

При записі на ферромагнетик кожне перемагнічування - це немов створення маленького магнітика, що має свої силові лінії. Уявимо собі, що сусідні елементарні магнітики при високій щільності запису стикаються настільки, що

Їхні силові лінії впливають одна на одну. Це приведе до взаємної компенсації або перекручування магнітних полів і, як результат, до втрати даних. Щоб уникнути втрат даних, величину струму для запису варто зменшити. Висококоерцитивний носій при цьому може зберігати елементарні магнітики без ризику взаємодії однієї з одною сусідніх силових ліній. Однак рівень сигналу, збереженого на такому носії, буде дуже малий. Щоб одержати при читанні прийнятний рівень віддачі корисного сигналу, чутливість голівок повинна бути високою, а самі вони повинні бути якнайближче до носія.

Найпоширеніші технології створення тонкоплівкових покриттів — анодування і напилювання. *Анодування* — це осадження на підкладку електрогальванічним способом молекул металу, солі якого містяться в розчині. Товщина магнітного шару, що осаджується таким способом, - близько 2 мкм. *Напилювання* — це створення на підкладці шляхом безупинного осадження у вакуумі декількох тонких плівок — металу, феромагнітного носія і захисного вуглецевого покриття. Ця технологія дорожча, ніж анодування, але вона дозволяє формувати тонкоплівкові покриття пластин диска.

Технологією майбутнього стане використання як носія *нанокристалічної суперструктури*, чи *надрешітки*. Суть цього нового способу магнітного запису, запропонованого фахівцями ІВМ, полягає у побудові тривимірних структур молекулярної величини (4нм), виділених з розчину під дією магнітного поля. Для цього використовуються *атоми* заліза і платини, оточені плівкою ізолюючих органічних молекул.

У результаті термообробки нанесеної плівки залізо-платинові кристали утворюють кристалічні ґрати. Стабільний магнітний заряд зберігається у вузлах ґрат, що дуже щільно упаковані і ніяк не впливають один на одного. Щільність запису на таку основу може досягти кількох терабіт даних на квадратний дюйм. Зберігати такий запис, на думку вчених, можна більше 10 років.

Між обертовими пластинами диска і плаваючими, завдяки зоні високого тиску, голівками є *повітряний зазор (head gap)*. Пішли в небуття індуктивні тонкоплівкові класичні голівки з «висотою польоту» 1.4 мкм і більше. Зусиллями фахівців корпорацій ІВМ, Seagate і Fujitsu були впроваджені магніторезистивні голівки (*MP; Magnetic-Resistive, MR*), що дозволили зменшити зазор до 0.13 мкм і досягти щільності запису до 5 Гбит/дюйм². Серед переваг МР-голівок — мала вага, мініатюрність, нечутливість до швидкості обертання носія, невисока чутливість до шумових сигналів і висока — до корисного сигналу (переходів перемагнічування). Усе це стало можливим завдяки магніторезистивному ефекту Кельвіна, який полягає в зміні опору деяких феромагнітних сплавів під впливом магнітного поля. Через елемент МР-голівки, що читає, постійно проходить невеликий струм, а зміна магнітного поля під елементом змінює його опір і, отже, величину струму, що використовується для відтворення інформації.

MP-голівка складається з двох частин, об'єднаних загальним шаром. Секція запису подана тонкоплівковою індуктивною голівкою. Функції ж читання покладені на іншу секцію — *магніторезистивний сенсор (MP-сенсор)*. MP-сенсор виготовляється з залізо-нікелевої (NiFe) плівки; її опір у магнітному полі елементів запису на носії може мінятися.

Сенсор покритий двома шарами. Один захищає його від побічних магнітних полів; у другого — високий опір, і він є магнітопроникним шаром, що відокремлює елемент запису від елемента читання. Такий «пошаровий піриг» називається *SAL (Soft Adjacent Layer)*.

MP-сенсор дуже чутливий до індукції магнітного поля. Це дозволяє читати магнітні сигнали такого рівня, який був недоступний магнітним тонкоплівковим голівкам, що літають на тій же висоті.

Крім того, MP-голівки реагують не тільки на *переходи перемагнічування*, але і на рівні магнітних сигналів. Це дозволяє підвищувати не тільки подовжню, але і поперечну щільність запису. Для роботи при щільності більше 5 Гбіт/дюйм² призначені удосконалені MP-голівки *MRX (MR Extended)*. Технологія їхнього виготовлення така ж, як і в MP-голівок, але вони мініатюрніші і піддаються більш ретельному вхідному контролю.

Щоб досягти щільності запису до 10 Гбіт/дюйм² і вище, застосовується технологія виготовлення *GMR-голівок (Giant MR)*. Якщо в звичайних MP-голівках використовується одна плівка-сенсор, то в голівках типу GMR сенсорів два. Вони розділені тонким електропровідним шаром. Така конструкція дозволяє підсилити ефект сенсорного датчика. У результаті чутливість доменів до слабких магнітних полів запису на носій підвищується, що дає можливість ще більше збільшити щільність запису.

Наступним етапом розвитку технології GMR-голівок стали голівки зі *спін-затвором (spin-valve heads)*. Вони забезпечують збільшення ємності дискової пам'яті за рахунок подальшого росту чутливості магнітних голівок до слабких магнітних сигналів. Спін-технологія базується на GMR-ефекті посилення сигналів слабких магнітних полів. Спін-затвор складається з MP-сенсорів, виготовлених із семи-восьми шарів магнітного і немагнітного металів. Товщина кожного такого шару не перевищує п'яти атомів.

Існують і інші способи підвищення продуктивності вінчестерів. Наприклад, корпорацією Seagate Technology був запропонований «*вінчестер з оптичною підтримкою*» *OAW (Optically Assisted Winchester)*. Диск OAW виготовлений з алюмінію або з пластику і покритий трьома шарами: аморфною (а не кристалічною) композицією рідкоземельних металів, що забезпечує високу поверхневу щільність запису, і двома захисними покриттями. Місце звичайної MP-голівки займає лазерний робочий вузол зі світловодом. Під час запису промінь лазера прогріває точку поверхні носія до температури сплаву Кюрі, і магнітні властивості прогрітої ділянки міняються. Запис займає всього

декілька наносекунд. Для читання лазер переключується в режим роботи зі зниженою потужністю. Намагніченість поверхні запису визначається за поляризацією відбитого лазерного променя. Подібна обробка інформації про вектор поляризації поверхневого шару застосовується в магнітооптичних дисках.

Підвищенню щільності запису і читанню даних з більш високою швидкістю сприяє технологія *часткового відгуку і максимальної правдоподібності* — *PRML (Partial Response Maximum Likelihood)*. При традиційному способі запису/читання даних магнітними голівками кожна група бітів кодується відповідно до зміни частоти і фази сигналів. Позиції магнітного запису на носії відокремлюються один від одного за допомогою *переходів переманіччювання* областей носія. Саме на такі переходи реагують магнітні голівки. Для запису-читання використовуються ключові тригерні схеми. Вони працюють з логічними рівнями сигналів, що мають великі перепади амплітуд. Ці перепади гарантують ідентифікацію сигналів при читанні.

Відповідно до методу PRML використовується спеціальний алгоритм, що дозволяє згладити перепади рівнів сигналів. При читанні передбачається багаторазове читання кожного елемента запису і відновлення запису відповідно до методу максимальної правдоподібності.

Таким чином, вірогідність читаної інформації не так залежить від перепадів рівнів сигналів, і перекручування форми імпульсу (у межах допуску) не приведе до втрати даних. Це дозволяє збільшити щільність запису і підвищити ємність дискової пам'яті.

Надійність вінчестера. Як відомо, емпіричним показником надійності служить *середній час наробітку на відмовлення* — *MTBF (Mean Time Between Failures)*. У сучасних вінчестерів вона складає від 300 тисяч до мільйона годин, якщо тільки через примхи долі або необережність дисковод випадково не упаде або не вдариться.

Довголіття дисководу скорочується через порушення електричних параметрів, через усілякі дестабілізуючі фактори — перегрів елементів, неправильне під'єднання пристроїв, збоїв живлення, розриву контактів і коротких замикань. Якогось одного загального засобу для захисту від усього цього немає. Проте основні виробники дисководів приділяють велику увагу питанням захисту пристроїв від згубних впливів зсередини і ззовні.

Одна з основних технологій забезпечення надійності складових комп'ютера — *SMART* (разом з її різновидами). Особливі датчики, встановлені у певних вузлах пристроїв комп'ютера, повідомляють системі моніторингу про зміну стану підсистем. Це дозволяє контролювати обстановку в різних вузлах і в периферійному устаткуванні комп'ютера і, залежно від сформованих умов експлуатації, підключати ті чи інші засоби захисту. До таких засобів відносяться:

- **система захисту від ударів і вібрації True Track Servo** (розроблена в IBM) — використовується для компенсації виходу голівок за межі робочого запису;

- **система передбачення збоїв Predictive Failure Analysis** (IBM) — стежить за робочими параметрами вінчестера;

- **система термоконтролю Drive TIP (Drive Temperature Indicator Processor;** розроблена в IBM) — спирається на моніторинг показань термодатчиків, розташованих у робочій зоні диска. Аналогічна система — *Thermal Monitor* — розроблена в Western Digital;

- **діагностична система контролю за станом диска Drive Fitness Test** (IBM) — працює разом із системою SMART.

Аналогічні функції створених у Quantum систем діагностики поверхні *Data Protection System* і *Seagate Sea Tools*;

- **система захисту від ударних навантажень (Shock Block;** розроблена в Maxtor) — удосконалений механізм підвіски голівок, що перешкоджає вертикальному переміщенню голівок при ударах і сприяє підвищенню ударостійкості голівок при їх установці;

- **система діагностики помилок даних Max Safe** (створений у Maxtor) — удосконалений спосіб виявлення і корекції помилок даних *ECC (Error Correction Code)*, а також перевірка ширини зазору між голівкою і поверхнею диска. Моніторинг показань датчика ширини зазору між голівками і поверхнями дисків використовується також у системі Western Digital *Fly Height Monitor*;

- **система захисту від тряски і ударів Shock Protection System** (створена в Quantum) — запобігає вертикальному переміщенню голівок, розсіюючи ударну енергію по всьому механізму приводу голівок дисководу;

- **захист від статичного розряду Soft Sea Shield Cover** (розроблений у Seagate) — являє собою металеву пластину на корпусі дисководу, що охороняє елементи пристрою від статичної електрики;

- **система захисту від ударів G-Force Protection** (Seagate) — дозволяє зменшити ризик ушкодження вузлів дисководу випадковими ударними навантаженнями. У цій технології використовуються: гідродинамічна підвіска шпиндельного двигуна; посилене кріплення дискових пластин; механізм сервокомпенсації можливих зсувів голівок щодо записів на доріжках під час удару; мініатюризація голівок; збільшення зазорів між голівками і поверхнями дисків, зазорів між диском і важелем механізму позиціонування голівок;

- **система вбудованої діагностики і регенерації даних Life Guard** (створена в Western Digital) — комплект сервісних утиліт, що включаються в програмне забезпечення дисководів WD. За результатами перевірки всіх зайнятих даними секторів перекручена інформація коректується, перевіряється і пересилається на колишнє місце або в інший, не зіпсований сектор. При відмовленні кожного з вузлів дисководу відбувається примусове паркування голівок.