

К. ф.-м. н. С. В. ГЕРУС, д. ф.-м. н. А. Ю. МИТЯГИН,
д. т. н. А. А. СОКОЛОВСКИЙ, к. ф.-м. н. М. П. ТЕМИРЯЗЕВА,
к. т. н. Б. В. ХЛОПОВ

Россия, г. Фрязино, Филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН; г. Москва, ЦНИРТИ им. акад. А. И. Берга
E-mail: alexandr-mityagin@yandex.ru; 208_otd@mail.ru

Дата поступления в редакцию
19.12.2009 г.

Оппонент д. т. н. В. С. СИТНИКОВ
(ОНПУ, г. Одесса)

ОСОБЕННОСТИ СТИРАНИЯ ИНФОРМАЦИИ С МНОГОДИСКОВЫХ ВИНЧЕСТЕРОВ ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Приведены результаты исследования качества стирания информации с многодисковых накопителей на жестких магнитных дисках магнитными импульсными полями и даны рекомендации для выбора параметров стирающих импульсов.

Хорошо известно, что импульсные магнитные поля используются для уничтожения информации на магнитных носителях [1]. Особенности конструкции современных накопителей на жестких магнитных дисках (НЖМД) является их многодисковая структура, а также наличие дополнительных металлических элементов, разделяющих диски. Корпус НЖМД изготовлен, как правило, из алюминиевого сплава с утолщениями в виде ребер жесткости. В том или ином виде такие элементы присутствуют в винчестерах разных производителей. Указанные особенности конструкции приводят к экранированию достаточно больших участков дисков при воздействии на них импульсными магнитными полями, что снижает надежность стирания информации. Коэрцитивная сила магнитных материалов, используемых в современных НЖМД, может достигать 450 кА/м [2], что определяет высокие требования к магнитным стирающим системам. Существующий способ контроля качества стирания информации основан на регистрации магнитного рельефа поверхности каждого диска НЖМД методами силовой микроскопии [3]. Первый этап контроля — регистрация исходного магнитного рельефа, соответствующего записанной информации, а на втором этапе регистрируется магнитное изображение поверхности после воздействия на винчестер стирающим магнитным полем. Для надежного стирания информации необходимо оптимальное соотношение длительности и амплитуды стирающего импульса.

Экспериментальные результаты

Стирание информации с НЖМД осуществлялось последовательным воздействием продольным (лежащим в плоскости диска) и поперечным (ортогональным плоскости диска) магнитным полем со следующими параметрами импульсов:

— продольное поле: амплитуда 720—760 кА/м, длительность импульса по уровню 0,5 составляла 1,36—1,4 мс;

— поперечное поле: амплитуда 640—650 кА/м, длительность импульса по уровню 0,5 составляла 5,2—5,4 мс.

В работе исследовалось уничтожение информации на современных НЖМД, отличающихся высокой плотностью записи: Hitachi Travelstar 5K500 (2,5", 3 магнитных диска, 0,5 ТБ); Hitachi Ultrastar A7K1000 (5 магнитных дисков, 1 ТБ); Seagate Barracuda <ST31000333AS> (4 магнитных диска, 1 ТБ); Seagate Barracuda ES2 <ST31000340NS> (4 магнитных диска, 1 ТБ).

Качество стирания информации контролировалось методами атомной силовой микроскопии путем регистрации магнитного рельефа поверхности каждого диска в нескольких точках до и после воздействия импульсными магнитными полями. После воздействия снималось по 5 картин остаточного магнитного рельефа с различных участков каждой поверхности каждого диска. На рис. 1 приведен характерный магнитный рельеф поверхности диска со специально записанной информацией, из которого видно, что атомный силовой микроскоп «Смена А» [4] обеспечивал пространственное разрешение в магнитном изображении не хуже 50 нм с высоким контрастом между физическими нулем и единицей.

На рис. 2 приведена характерная магнитная картина поверхности одного из дисков трехдискового винчестера Hitachi Travelstar 5K500 после воздействия магнитными полями стирающего устройства. Здесь

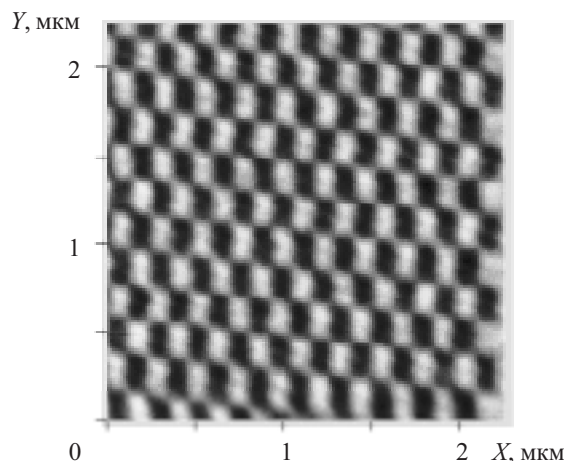


Рис. 1. Магнитный рельеф поверхности диска со служебной информацией

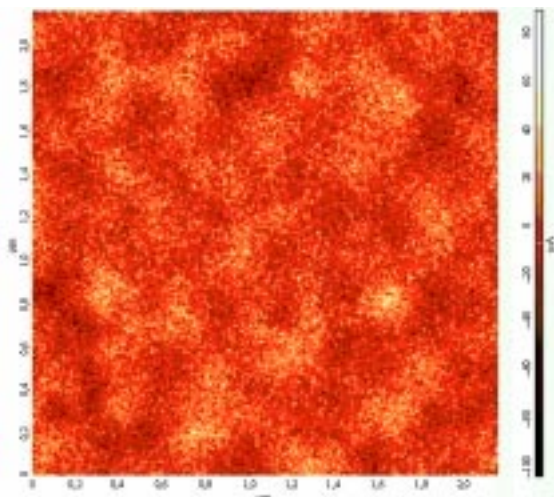


Рис. 2. Характерная картина магнитного рельефа поверхности одного из дисков винчестера Hitachi Travelstar 5K500 после воздействия импульсным магнитным полем

видно, что информация полностью стерта. На каждой поверхности каждого диска магнитный рельеф снимался в 5 точках. Все 30 картин аналогичны приведенной на рис. 2, что подтверждает полное уничтожение информации на НЖМД.

В отличие от этого случая, такое же воздействие на диски НЖМД Hitachi Ultrastar A7K1000 не приводит к полному стиранию информации. На рис. 3 показаны участки, на которых полностью стерта информация, и участки с ее остатками. Естественно, чтение этой информации штатными магнитными головками НЖМД практически неосуществимо. Методами атомной силовой микроскопии этот рельеф может быть визуализирован, однако восстановление оставшихся фрагментов информации сопряжено с большими техническими трудностями. Неполное стирание информации, очевидно, связано с экранировкой импульсного магнитного поля металлическими элементами НЖМД. Заметную роль при этом играют и

алюминиевые подложки (толщиной около 1 мм) самих магнитных дисков.

Для проверки этого предположения один из НЖМД перед стиранием информации был разобран, воздействие магнитным полем осуществлялось непосредственно на каждый диск в отдельности. В таком случае стирание информации было полным, что подтверждает достаточность амплитуды применяемого магнитного импульса для надежного перемагничивания материалов, используемых в исследованных НЖМД.

Аналогичные результаты были получены и для НЖМД Seagate Barracuda <ST31000333AS> (4 магнитных диска, 1 ТБ); Seagate Barracuda ES2 <ST31000340NS> (4 магнитных диска, 1 ТБ).

Главный вывод из этих экспериментов заключается в том, что использованные импульсные магнитные поля превышают коэрцитивную силу магнитных материалов, применяемых в современных винчестерах. Этих полей достаточно, чтобы эффективно и надежно стирать информацию с винчестеров, в которых рабочий магнитный слой нанесен на стеклянные подложки. Ситуация с уничтожением информации на наиболее распространенных многодисковых винчестерах с дисками из алюминиевого сплава намного сложнее вследствие экранирования импульсного магнитного поля металлическими частями НЖМД.

Экранирование магнитного импульса в многодисковых винчестерах

Характерные элементы конструкции НЖМД, влияющие на экранировку импульсного магнитного поля, это корпус с дополнительными ребрами жесткости и металлическими накладками, алюминиевые подложки дисков, междисковые раздельные экраны толщиной около 0,5 мм (рис. 4).

При используемых напряженностях магнитного поля ($H_0 > 400$ кА/м) и временных параметрах импульсов решающую роль для ослабления внешнего поля играет электрическая проводимость материала, а не его магнитная проницаемость.

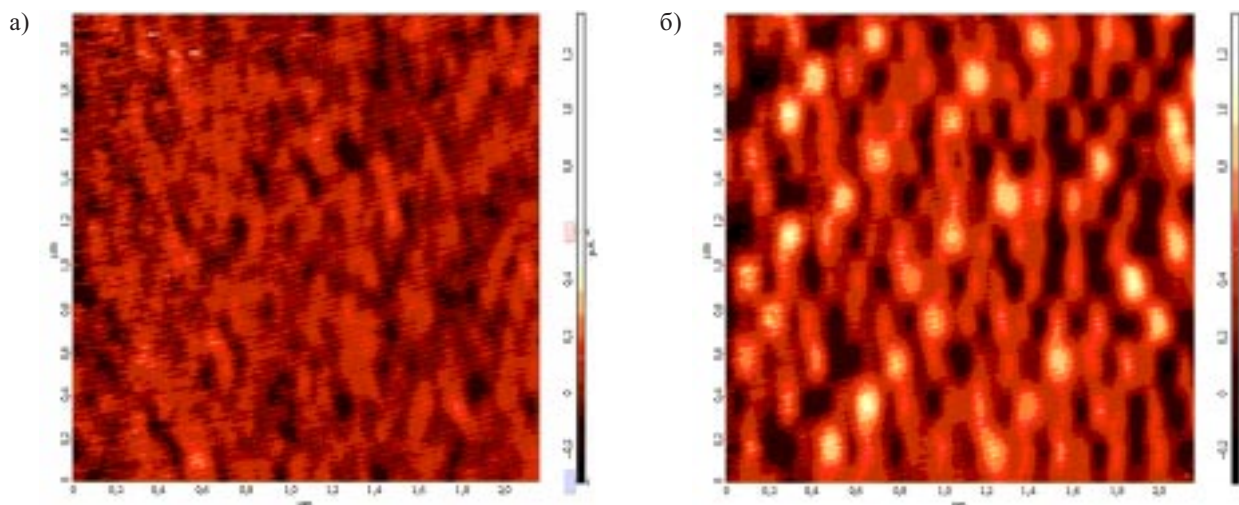


Рис. 3. Характерный магнитный рельеф разных участков поверхности одного из дисков винчестера Hitachi, 1 ТБ после воздействия импульсным магнитным полем: а — информация полностью стерта; б — информация не стерта

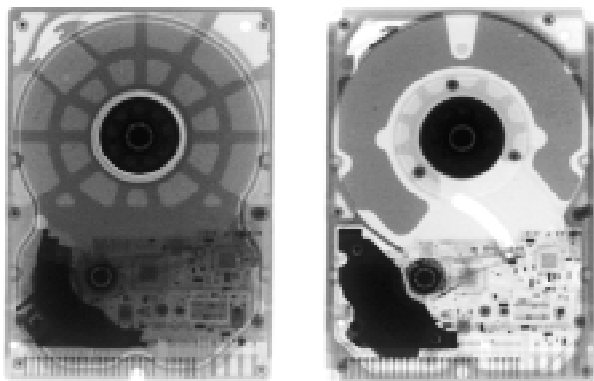


Рис. 4. Рентгеновские снимки НЖМД различных производителей, демонстрирующие особенности элементов экранировки

Как известно [5, с. 283], амплитуда напряженности переменного магнитного поля круговой частоты ω уменьшается с проникновением в немагнитный проводник на глубину z по закону

$$H(z) / H_0 = \exp(-z / \delta), \quad (1)$$

где H_0 — амплитуда напряженности поля на поверхности проводника;

δ — глубина скин-слоя;

$$\delta = \sqrt{2\rho / (\mu_0 \omega)}, \quad (2)$$

μ_0 — магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

ρ — удельное сопротивление проводника, для алюминия $\rho_{Al} = 2,82 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.

При использовании импульсного магнитного поля необходимо рассматривать действие частотного экранирования (1), (2) с учетом всего спектра частот, составляющих используемый импульс. Эта громоздкая процедура предполагает представление исходного импульса в виде интеграла Фурье, воздействие на каждую спектральную компоненту по закону (1), (2) и последующее восстановление результирующего импульса посредством обратного преобразования Фурье с учетом фазовых сдвигов каждой спектральной компоненты.

В настоящей работе использовался другой подход. Магнитное поле $H(z, t)$ в одномерной экранирующей среде описывается уравнением [5, с. 279]

$$\frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = \frac{\mu_0}{\rho} \frac{\partial H}{\partial t}$$

с соответствующими граничными условиями и начальными условиями, определяющими форму стирающего импульса. Эта задача решается стандартными численными методами [6].

На рис. 5 приведены результаты численного моделирования прохождения исходных магнитных импульсов разной длительности (длительность импульсов по уровню 0,5—1,4 мс и 5,4 мс) через экранирующий слой алюминия различной толщины. В качестве исходных в расчетах использовались импульсы, измеренные в экспериментальном стирающем устройстве.

Из приведенного рисунка видно, что по мере прохождения через слой металла импульс магнитного

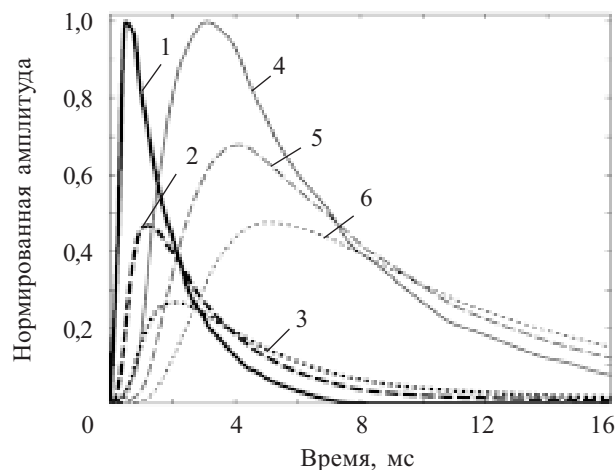


Рис. 5. Изменение формы и амплитуды магнитных импульсов различной длительности (1—3 — 1,4 мс; 4—6 — 5,4 мс) при их экранировании слоем алюминия различной толщины d :

1, 4 — $d=0$ (исходные импульсы); 2, 5 — $d=4$ мм; 3, 6 — $d=8$ мм

поля не только уменьшается по амплитуде, но и расширяется, что легко объяснимо ослаблением высокочастотных компонент импульса.

Для объяснения островного характера уничтожения информации (см. рис. 3) с многодисковых НЖМД (4—5 дисков) была решена задача распределения амплитуды напряженности импульсного магнитного поля внутри многодискового НЖМД с учетом экранирующего действия корпуса. Уравнение (3) решалось методами компьютерного моделирования для геометрии, показанной на рис. 6, которая соответствует типичной структуре современного многодискового НЖМД.

Характерные размеры элементов, показанных на рис. 6, составляют: толщина дисков и крышки НЖМД

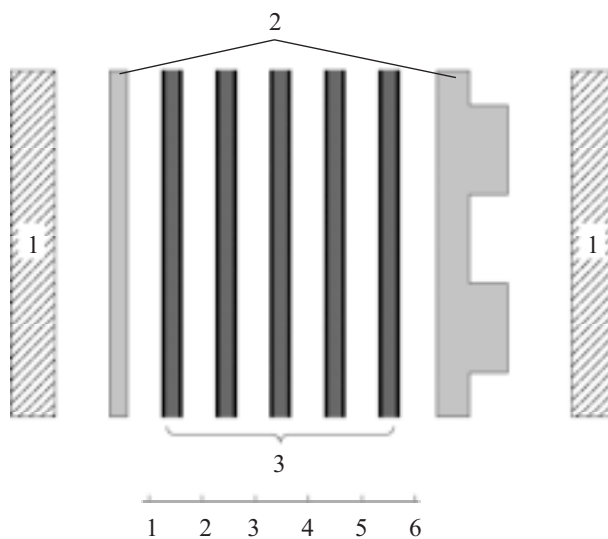


Рис. 6. Схематическое изображение расположения экранирующих элементов НЖМД:

1 — стирающая магнитная система; 2 — крышка и корпус НЖМД; 3 — алюминиевые диски с магнитным носителем (на шкале показаны номера промежутков между дисками)

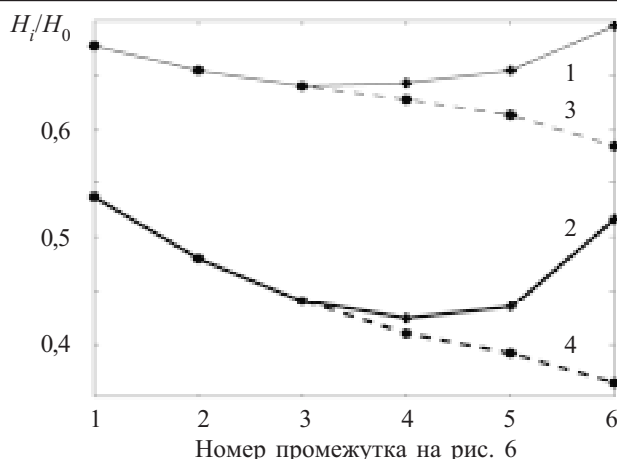


Рис. 7. Относительная амплитуда магнитного импульса (H_i/H_0) в различных промежутках между дисками НЖМД. Кривые 1 и 2 соответствуют импульсам 1 и 4 на рис. 5, кривые 3 и 4 соответствуют полям под утолщениями корпуса НЖМД

— по 1 мм, толщина корпуса в тонких местах — 2 мм, в ребрах жесткости — 5,5 мм.

Поле внутри каждого из промежутков, обозначенных на рис. 6, определялось как полусумма полей, прошедших от правой и левой частей магнитной стирающей системы 1, причем следует отметить, что распределения поля в разных сечениях НЖМД различаются вследствие разной толщины корпуса.

На рис. 7 приведено распределение относительной амплитуды импульса магнитного поля H_i/H_0 различной длительности в сечениях НЖМД, изображенного на рис. 6. Здесь H_0 — напряженность поля на поверхности проводника; H_i — напряженность поля в промежутках между проводниками ($i=1, 2, \dots, 6$).

Таким образом, для винчестеров, содержащих пять дисков (например Hitachi Ultrastar A7K1000, A7K2000 и др.), ослабление магнитного поля в зависимости от длительности импульса может достигать 30—70%. Как и следовало ожидать, при более длинном импульсе ослабление магнитного поля меньше, и его распределение является более однородным.

Исходя из результатов, приведенных на рис. 7, и учитывая, что коэрцитивная сила для магнитных материалов, применяемых в современных НЖМД, может достигать 450 кА/м [2], можно сделать вывод, что амплитуда магнитного импульса, необходимая для гарантированного уничтожения информации, должна превышать $450/0,37=1200$ кА/м при его длительности 1,4 мс и $450/0,58=775$ кА/м при длительности 5,4 мс. Степень превышения указанных величин зависит от «прямоугольности» петли гистерезиса применяемых магнитных материалов.

Следует отметить, что для НЖМД с меньшим количеством дисков условия стирания информации при заданной амплитуде и длительности магнитного импульса являются более благоприятными, т. е. геометрия, приведенная на рис. 6, соответствует наихудшему случаю с точки зрения надежного стирания информации. Иными словами, универсальное стирающее устройство, гарантированно уничтожающее информацию с пятидисковых НЖМД, несомненно бу-

дет уничтожать информацию с НЖМД с меньшим количеством дисков.

Из приведенных расчетов следует, что для надежного стирания информации с многодисковых винчестеров из магнитного материала, имеющего коэрцитивную силу порядка 450 кА/м [2], необходимо формировать магнитные импульсы длительностью более 5 мс с амплитудой не менее 800 кА/м. Из зависимостей на рис. 7 (кривые 3, 4) видно, что на магнитных дисках имеются зоны повышенного экранирования с пониженной напряженностью стирающего магнитного поля, на которых могут сохраняться остатки магнитного рельефа исходной информации. Следует отметить, что аналогичная картина наблюдается и на четырехдисковых винчестерах фирмы Seagate, в которых диски разделены дополнительными алюминиевыми экранами.

Качество стирания информации с многодисковых винчестеров можно повысить при меньшей напряженности магнитного поля, если применить магнитную систему [7]. Особенностью указанной магнитной системы является ее расположение в местах минимальной экранировки и меньший объем создаваемого магнитного поля, что существенно снижает энергозатраты. При этом в момент действия магнитного импульса магнитные диски НЖМД вращаются, и за время действия магнитного импульса все части дисков будут проходить область минимальной экранировки. При номинальной частоте вращения дисков современных винчестеров 7200 об/мин один оборот, соответственно, совершается за 8,5 мс, что соизмеримо со временем действия магнитного импульса.

Таким образом, представленные результаты исследования качества стирания информации с многодисковых винчестеров магнитными импульсными полями позволили сделать вывод о том, что островной характер стирания информации объясняется экранированием магнитного поля металлическими элементами конструкции НЖМД.

С увеличением длительности магнитного импульса снижаются требования к его амплитуде, необходимой для надежного стирания информации с современных многодисковых НЖМД

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гуляев Ю. В., Герус С. В., Житковский В. Д. и др. Уничтожение информации с накопителей на жестких магнитных дисках // Инженерная физика.— 2004.— № 2.— С. 2—12.
2. Roy A. G., Jeong S., Laughlin D. E. High-coercivity CoCrPt-Ti perpendicular media by in situ interdiffusion of CrMn ultrathin overlayers // IEEE Transactions on Magnetics.— 2002.— Vol. 38, N 5, part 1.— P. 2018—2020.
3. Герус С. В., Митягин А. Ю., Соколовский А. А. и др. Экспериментальное исследование качества и полноты уничтожения информации с жестких магнитных дисков.// Междунар. науч.-технич. конфер. «Информационные технологии и моделирование приборов и техпроцессов в целях обеспечения качества и надежности». — Сусс, Тунис.— 2006.— Т. 1.— С. 38—43.
4. <http://www.ntmdt.ru>
5. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Электродинамика сплошных сред.— М.: Наука, 1982.
6. MATLAB 7.9.0 (R2009b), <http://www.mathworks.com/>
7. Пат. 35919 РФ. Устройство для стирания записи с носителей на жестких магнитных дисках / Герус С. В., Соколовский А. А., Гуляев Ю. В. и др.— 10.02 2004.