

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СОХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ НА ВИНЧЕСТЕРАХ

А.А.Соколовский¹⁾, М.П.Темиряева¹⁾, А.Ю.Митягин¹⁾, Б.В.Хлопов²⁾,
М.В.Фесенко²⁾

¹⁾ Институт Радиотехники и Электроники РАН, Российская Федерация
103907, Моховая ул., д. 11, корп. 7, lap@promtechn.ru

²⁾ ФГУП «ЦНИРТИ им. академика А.И.Берга», Российская Федерация,
105066, Москва, ул. Новая Басманная, 20, 208_otd@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ.

В настоящее время основным средством хранения информации в вычислительных системах различного назначения по-прежнему являются накопители на жестких магнитных дисках (винчестеры). Современный этап развития этих устройств характеризуется преимущественным выпуском НЖМД с перпендикулярной записью, емкость которых достигла 1Тб при плотности записи 150-170Гб/кв.дюйм. Если первые диски компании Seagate такого типа появились в продаже в первой половине 2006 года, то уже к февралю 2007 года таких винчестеров было продано более 16 миллионов. Практически все выпускаемые в настоящее время винчестеры основаны на перпендикулярной записи. При этом, только две фирмы Hitachi и Seagate выпускают полную номенклатуру компонентов для выпуска таких накопителей, а остальные фирмы (Western Digital, Fujitsu и др) пока покупают необходимые комплектующие для выпуска своих винчестеров с перпендикулярной записью у этих фирм. Следует отметить, что если в начале данной работы винчестеры с объемом 1 Тб были до некоторой степени экзотикой, то уже сейчас вполне доступны винчестеры с объемом 2 Тб.

Радикальное изменение технологии магнитной записи требует критического анализа применимости существующих методов и устройств уничтожения информации, определения направлений совершенствования этих методов и устройств а также существенного улучшения их потребительских качеств. Рассмотрению некоторых из этих вопросов и посвящена настоящая работа.

1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О СПОСОБАХ ЗАПИСИ ИНФОРМАЦИИ НА МАГНИТНЫЕ НОСИТЕЛИ [1,2]

1.1. ТЕХНОЛОГИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЗАПИСИ НА МАГНИТНЫЕ ДИСКИ

Данные записываются на диск, покрытый магнитным записывающим слоем. Любой магнитный материал (например, оксид железа) состоит из доменов - областей, внутри которых

магнитные моменты всех атомов направлены в одну сторону. Каждый домен имеет большой суммарный момент, который в исходном состоянии может быть направлен произвольно. Под действием внешнего магнитного поля домены могут менять направление магнитного момента. Именно этот эффект используется при записи. Информация хранится не на одном домене, а на областях (частицах), состоящих минимум из 70-100 «зерен». Если магнитный момент такой частицы совпадает с направлением движения считывающей головки – получаем «0», если противоположен – «1». Так как две соседние области имеют противоположное направление моментов, на границе между ними часть доменов может потерять стабильность и произвольно менять направление магнитного момента.

Главной характеристикой магнитной пластины является плотность записи. Она состоит из нескольких показателей: линейная плотность - плотность на один дюйм дорожки (Bits per Inch, BPI), количество дорожек на дюйм диаметра (Tracks per Inch, TPI), и плотность на квадратный дюйм поверхности (areal density, произведение первых двух). Чтобы увеличить емкость накопителя, можно пойти двумя путями: увеличить количество пластин или увеличить плотность записи на пластину. Первый путь означает значительное усложнение механического устройства накопителя, что зачастую просто невозможно, да и экономически не выгодно. Поэтому основным показателем, определявшим рост емкости жестких дисков за последние 50 лет, являлась плотность записи на пластину.

1.2. ПРИНЦИПЫ МАСШТАБИРОВАНИЯ

Основы масштабирования в магнитной записи точно такие же, как и в теории трехмерного магнитного поля. Если магнитные свойства материалов постоянны, то конфигурация поля остается неизменной при изменении всех токов и размеров во всех плоскостях в s раз. При этом плотность записи также увеличивается в s раз. Однако следует учитывать еще два важных для

практического использования фактора: скорость вращения дисков и скорость передачи данных. На практике скорость вращения остается неизменной, скорость передачи данных растет, а токи постепенно уменьшаются, поэтому приходится изобретать новые методы чтения.

В теории, если необходимо увеличить TPI в 2 раза, BPI в 2 раза и areal density в 4 раза, достаточно уменьшить все размеры в 2 раза, сохранить скорость вращения той же и удвоить скорость передачи данных. Если материалы и пропорции сохраняются, то устоявшийся принцип соблюдается.

На практике такой способ масштабирования сталкивается с 3 сложностями:

- Сохранение или увеличение скорости считывания при увеличении плотности записи может быть невозможно для существующей электроники;
- Для увеличения производительности приводов приходится увеличивать скорость вращения дисков, что также сказывается на скорости считывания;
- Уменьшение масштабов уменьшает уровень сигналов чтения, что резко увеличивает шумы в магнитных полях. Уменьшение соотношения сигнал/шум требует создания более чувствительных считывающих головок. Поэтому индустрия перешла от индуктивных головок к магниторезистивным (MR), затем к GMR-головкам, использующим эффект «гигантской магниторезистивности», и даже к TMR-головкам, построенным на туннельном эффекте.

Тем не менее, до последнего времени производители накопителей шли именно таким путем, пока не подошли вплотную к так называемому суперпарамагнитному пределу, который сделал невозможным дальнейшее наращивание плотности традиционными методами.

1.3. СУПЕРПАРАМАГНЕТИЗМ

Как известно из курса физики, свойством любого магнетика является анизотропия. Домен с большим трудом намагничивается в одном направлении, и легко – в противоположном (по «легкой оси»). Его энергия пропорциональна $\sin 2\theta$, где θ - угол между углом намагниченности домена и осью предпочтительного намагничивания. В условиях абсолютного нуля в изолированной системе намагниченный домен занимает положение в одном из состояний с наименьшей энергией (т.е. под углом 0 или 180 градусов). Для представления информации эти положения принимаются за логический ноль или единицу. При изменении направления намагниченности и повышении температуры домен может поменять направленность магнитного момента. Уменьшение размеров частицы в 2 раза означает уменьшение

энергетического барьера, который необходимо преодолеть для смены направления, поэтому она становится значительно менее стабильной. Период стабильности может измениться со 100 лет (стабильная частица) до 100 нс (при таком периоде частицу вообще сложно назвать постоянным магнитом). В последнем случае мы получим на пластине огромное количество хаотически расположенных намагниченных частиц, произвольно меняющих свою направленность. Это явление называется суперпарамагнетизмом, потому что макроскопические свойства такой среды похожи на свойства парамагнетиков.

В реальной среде ситуация оказывается еще более сложной. При традиционном методе параллельной записи на диск магнитные частицы располагаются магнитными моментами параллельно плоскости диска. А, как известно, два постоянных магнита, расположенных одинаковыми полюсами друг к другу, отталкиваются, а разными – притягиваются. Значит, между ними тоже происходит энергетическое взаимодействие. У границ намагниченных частиц возникает поле рассеяния, которое забирает энергию у магнитных полей обеих частиц. В результате крайние домены частицы теряют часть заряда и становятся менее стабильными.

Чтобы это преодолеть, ученые предлагали разные методы, но все они лишь слегка отодвигали парамагнитный предел. Необходимо было принципиально новое решение.

1.4. ПЕРПЕНДИКУЛЯРНАЯ ЗАПИСЬ



Рис.1. Схема технологии перпендикулярной записи

Впервые метод перпендикулярной записи на магнитный носитель был применен еще в конце 19 века датским ученым Вольдемаром Поульсеном для магнитной записи звука. Однако в дальнейшем исследования на эту тему носили больше теоретический характер из-за недостаточного развития технологий, не

позволявших использовать разработки. Отцом технологии перпендикулярной записи считается доктор Shun-ichi Iwasaki – президент и директор престижного японского Tohoku Institute of Technology [3,4]. Именно этот ученый в 1976 году теоретически обосновал преимущества нового типа записи, исследователей всего мира к углубленным разработкам.

При перпендикулярной записи на диск магнитные частицы располагаются под углом 90° к плоскости магнитного диска. Благодаря этому домены, хранящие разные значения, не отталкиваются друг от друга, потому что намагниченные частицы повернуты друг к другу разными полюсами. Увеличение плотности, означающее уменьшение размера частиц, при этом не будет требовать уменьшения толщины слоя, что обеспечит стабильность магнитного материала.

При перпендикулярной записи используется намного более сложный состав магнитного слоя. Под тонким защитным слоем расположен записывающий слой состоящий из окисленного сплава кобальта, платины и хрома. Подложка состоит из двух слоев сложного химического состава, называемых антиферромагнитносвязанными слоями. Именно они позволяют снять внутренние напряжения магнитного поля.

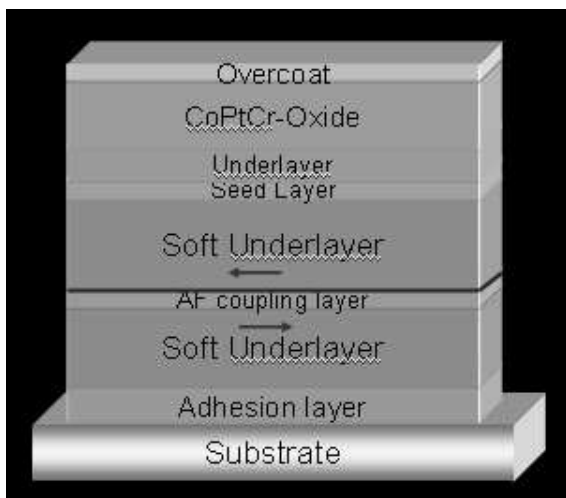


Рис.2. Состав магнитного слоя при перпендикулярной записи

Для перпендикулярной записи на магнитный слой используется головка новой конструкции. Если при продольной записи магнитное поле генерируется в металлическом кольце с помощью индукции, то при перпендикулярной используется поле, генерируемое между срезом полюса головки записи и магнитомягким подслоем на диске. Поэтому частицы записывающего слоя намагничиваются вертикально, а частицы магнитного подслоя – горизонтально. Это

обеспечивает дополнительную стабильность частиц относительно друг друга.

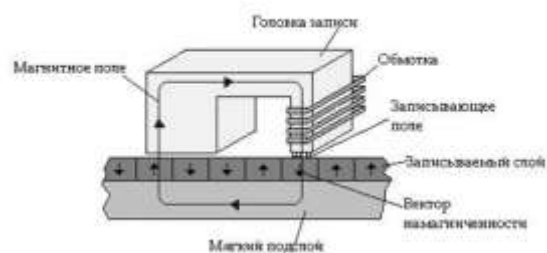


Рис.3. Процесс перпендикулярной записи на диск

Важное отличие перпендикулярной записи от продольной заключается в характере и расположении сигнала чтения. Продольный магнитный слой без подслоя испускает магнитный сигнал только с границы перехода бит (с границы между одной магнитной частицей и другой) под прямым углом к плоскости диска. Перпендикулярный магнитный слой испускает сигнал по всей площади частицы, а благодаря подслою вектор этого сигнала направлен параллельно плоскости диска. Для считывания требуются принципиально новые головки чтения, которые позволяют значительно увеличить соотношение сигнал/шум и мощность самого сигнала. Поэтому некоторые компании уже начинают применять новое поколение головок, использующее туннельный магниторезистивный эффект (TMR Heads). Следует отметить, что в этом (2007) году Нобелевскую премию по физике получили Albert Fert и Peter Gruenberg именно за открытие гигантского магниторезистивного эффекта на основе которого и создаются головки для современных винчестеров.

2. **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЖЕСТКИХ ДИСКОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ИХ УСТОЙЧИВОСТИ К ИМПУЛЬСНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЯМ. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ**

В настоящее время основные производители жестких магнитных дисков (Seagate, Hitachi, Western Digital, Samsung) перешли на носители с перпендикулярной записью. Максимальный объем винчестеров достигнутый на переходных (запись параллельная, головки новые) моделях винчестеров с параллельной записью составляет 500 ГБ и реализован за счет использования новых типов магнитных головок, применяемых в носителях с перпендикулярной записью, основанных на туннельном магниторезистивном эффекте (TMR heads) и применения многодисковых (до 5 дисков) систем. Примером

такого диска является Hitachi Deskstar 7K500 (HDS725050KLA3600) в котором емкость в 500ГБ реализована за счет применения пяти пластинчатой конструкции. Следует отметить, что уже весной этого года начались продажи винчестеров Hitachi Deskstar 7K1000 с емкостью 1ТБ. В этих винчестерах реализована перпендикулярная запись, а конструктив подобен 7K500 (5 пластин, 10 головок) На российском рынке таких винчестеров пока нет, а на Западе их стоимость составляет примерно 400\$. Цены на винчестеры такого типа быстро падают. Так, если в сентябре 2006 года винчестер Seagate Barracuda 7200.10 (ST3750640AS, 750 ГБ, перпендикулярная запись) стоил 447\$, то уже в мае 2007г. его цена не превышает 250\$ и он доступен во многих торгующих организациях.

Характерные значения плотности достигнутой для параллельной записи составляют 120-130 ГБ на

пластину, поэтому все винчестеры с объемом более 300ГБ имеют число пластин больше трех. Для перпендикулярной записи плотность в настоящее время составляет 180-200ГБ на пластину, а число дисков в винчестере составляет 4-5. Поскольку для испытаний на винчестеры необходимо записать большое количество информации, целесообразно выбрать диски с максимальной скоростью записи. Характерные значения скорости записи составляют 47-63 МБ/сек. Для винчестера Samsung SP2504 скорость записи составляет 120,8 МБ/сек.

Для испытаний предлагается выбрать следующие типы винчестеров с интерфейсом IDE: Samsung SP2514N, Western Digital WD3200AAJB, Seagate Barracuda 7200.10 ST3750640A основные характеристики которых, важные для испытаний, приведены в таблице 1.

Таблица 1

Тип HDD	Ёмкость, ГБ	Тип записи	Кол-во пластин	Скорость записи, МБ/сек	Стоимость, USD	Интерфейс
Samsung SP2514N	250	параллельная	2	120	66-70	IDE
Western Dig. WD3200AAJB	320	параллельная	3	59	80-90	IDE
Seagate ST3750640A	750	Перпендикулярная	4	63	250-270	IDE
Samsung SP2504C	250	параллельная	2	120	66-70	SATA2
Western Dig. WD5000AAKS	500	параллельная	4	59	140-150	SATA2
Seagate ST3750640AS	750	Перпендикулярная	4	63	250-270	SATA2

Особенностями конструкции многодисковых винчестеров большого объема является наличие дополнительных металлических элементов разделяющих диски (см.фото). В том или ином виде такие элементы присутствуют в винчестерах разных производителей. Как правило, их наличие уменьшает вибрации и биение пластин, что

необходимо для повышения точности считывания информации. В то же время они приводят к дополнительному экранированию достаточно больших участков дисков при воздействии на них импульсных магнитных полей. Это обстоятельство требует детального исследования полноты уничтожения информации на различных участках диска.



Рис.4. Seagate 750 Гб



Рис.5. Hitachi 1000 Гб

Методы контроля полноты уничтожения информации основаны на регистрации методами силовой микроскопии магнитного рельефа поверхности каждого диска винчестера в нескольких точках. Первый этап контроля – регистрация магнитных картин до воздействия импульсного магнитного поля, а на втором этапе регистрируются магнитные изображения поверхности после воздействия на винчестер магнитными полями.

3. ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ МАГНИТНОГО РЕЛЬЕФА ЗОНДОВЫМ МИКРОСКОПОМ В СЛУЧАЕ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОЙ ЗАПИСИ. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ «ЧИСТОГО» ВИНЧЕСТЕРА.

Важное отличие перпендикулярной записи от продольной заключается в характере и расположении магнитного сигнала. Продольный магнитный слой без подслоя испускает магнитный сигнал только с границы перехода бит (с границы между одной магнитной частицей и другой) под прямым углом к плоскости диска. Перпендикулярный магнитный слой испускает сигнал по всей площади частицы, а благодаря подслою вектор этого сигнала направлен параллельно плоскости диска.

В связи с этим, получение изображения магнитного рельефа пластин с перпендикулярной записью имеет ряд особенностей. Это связано как с упомянутой

особенностью магнитного сигнала, так и с тем, что характерный размер бита информации достаточно мал. Для его пространственного разрешения необходимо максимально приближать иглу микроскопа к исследуемой поверхности [5]. Следствием этого является уменьшение допустимой амплитуды колебаний кантилевера, что в свою очередь уменьшает полезный сигнал, величина которого пропорциональна амплитуде колебаний. В результате подбора режимов получения магнитного изображения дисков с перпендикулярной записью, удалось получать изображения приемлемого качества для идентификации наличия или отсутствия информации.

Работоспособность жесткого диска обеспечивается служебной информацией, записанной на одной из пластин. Состоит служебная информация из модулей, целостность которых критична для работоспособности винчестера. Каждый из них имеет свое назначение: паспорт диска, серийный номер, таблица дефектов, состояние S.M.A.R.T. и т.д. Это своего рода ОС винчестера – программа, благодаря которой винчестер работает. При включении плата управления винчестера считывает эти модули и если они испорчены, то НЖМД не будет работать.

В качестве примера ниже приведены изображения поверхности пластины «чистого» диска.

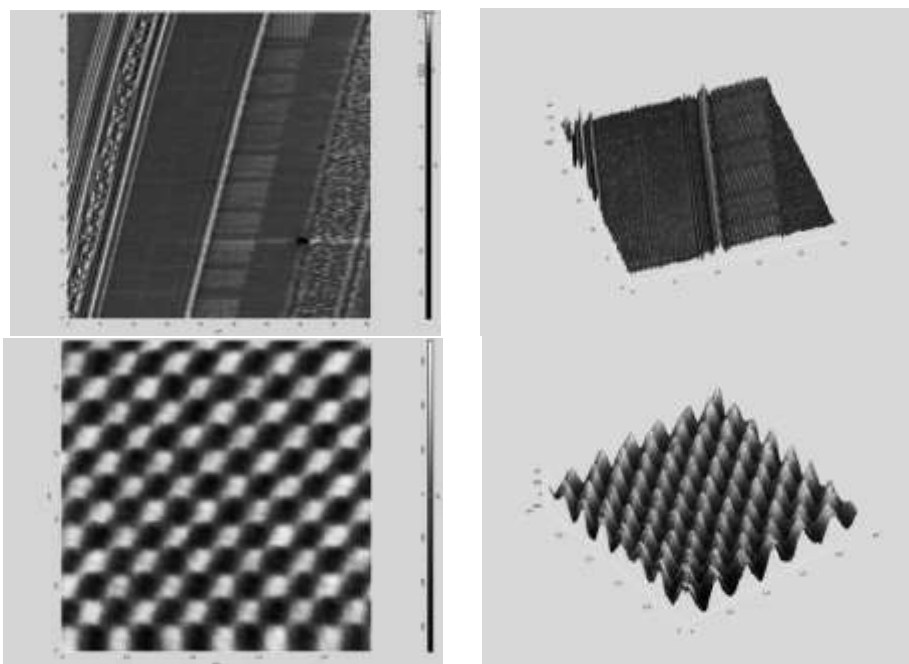


Рис.6. Магнитные изображения фрагментов поверхности диска со служебной информацией

**4. ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО
МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА
СОХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ НА
РАЗЛИЧНЫХ ВИНЧЕСТЕРАХ
(ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ).**

На приведенных ниже рисунках приведены магнитные рельефы с участков поверхностей дисков с записанной информацией.

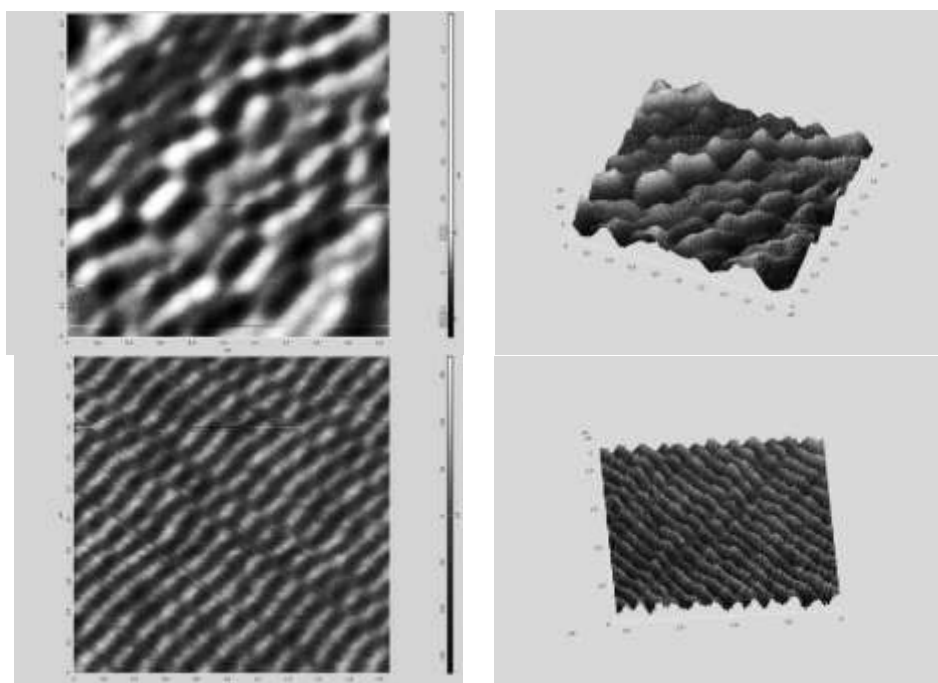


Рис.7. WD 500 Гб

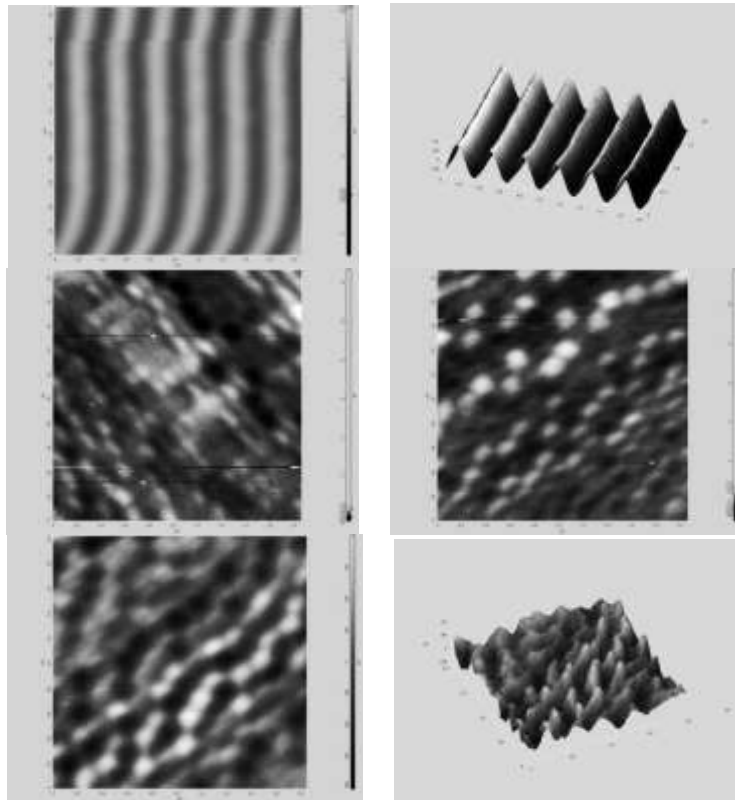


Рис.8. Seagate 750 Гб

Следует отметить не очень высокое качество изображений, связанное как с малыми размерами информационных битов (около 100 нм), так и с необходимостью тщательного подбора режимов сканирования. Очевидно, что получение магнитных изображений с дисков с перпендикулярной записью требует разработки специализированных методик. Тем не менее, полученные изображения позволяют сделать однозначные выводы о наличии или отсутствии

записи на исследованных дисках.

Ниже приводятся характерные магнитные картины с различных участков поверхности магнитного диска после воздействия на них импульсными магнитными полями напряженностью $H_{\perp} \approx 450$ кА/м и длительностью импульса $T_{\mu} > 1$ мкс (по уровню 0,5 амплитудного значения). С каждой стороны диска снималось по пять участков.

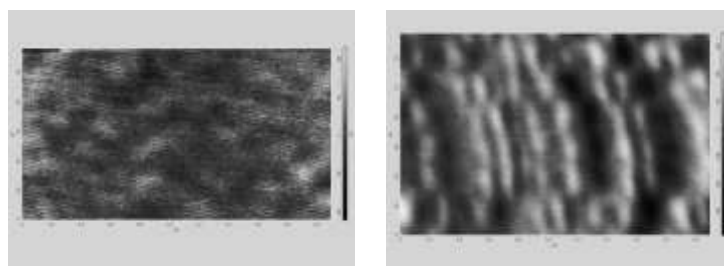


Рис.9. Western Digital, 500 Гб, WD5000AAJS первый диск

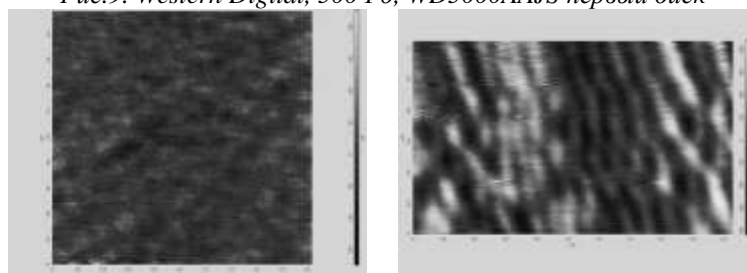


Рис.10. Western Digital, 500 Гб, WD5000AAJS второй диск

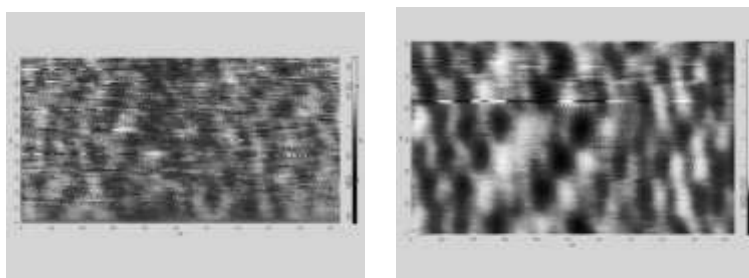


Рис.11. Western Digital, 500 Гб, WD5000AAJS третий диск

С данного винчестера в общей сложности сделано 32 магнитных снимка. Выше приведены наиболее характерные изображения. Видно, что практически на каждом диске присутствуют как

участки с уничтоженной информацией, так и участки с остаточными следами информации.

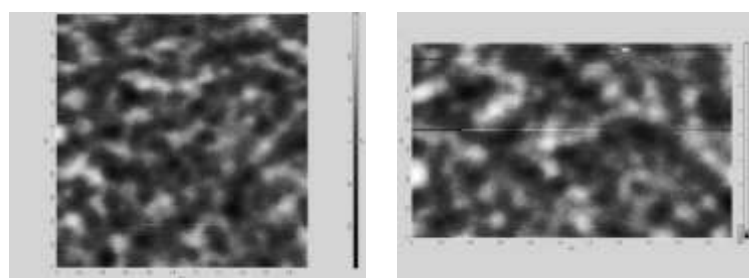


Рис.12. Seagate Barracuda750Гб, ST3750640AS, четвертый диск

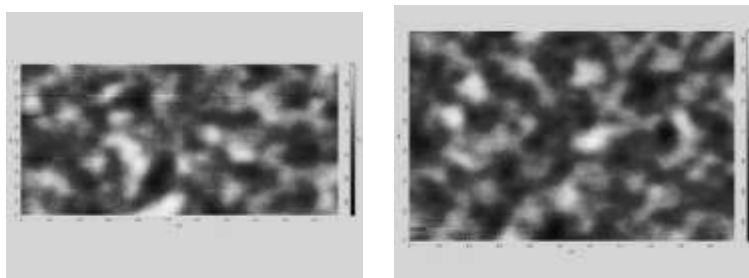


Рис.13. Seagate Barracuda750Гб, ST3750640AS, третий диск

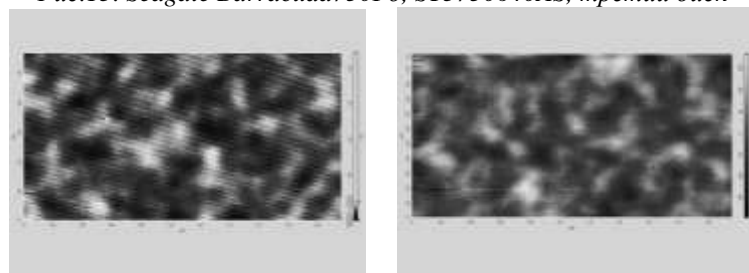


Рис.14. Seagate Barracuda750Гб, ST3750640AS, второй диск

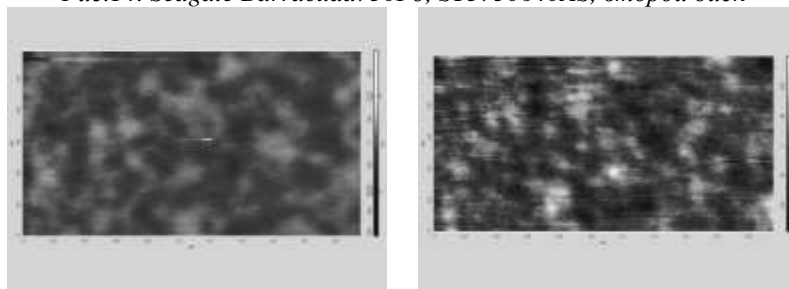


Рис.15. Seagate Barracuda750Гб, ST3750640AS, первый диск

В общей сложности получено 27 магнитных картинок. После стирания следов информации

не обнаружено.

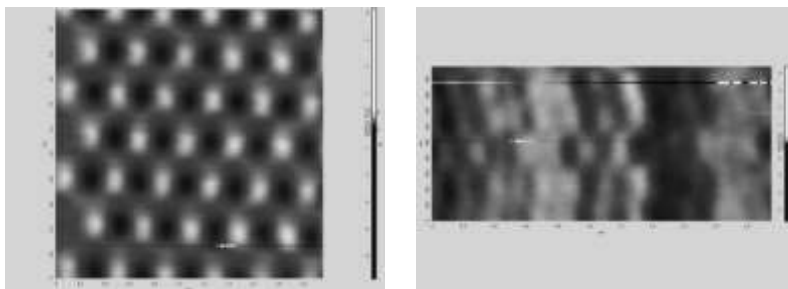


Рис.16. Western Digital, 320 Гб, WD3200AAJS, второй диск

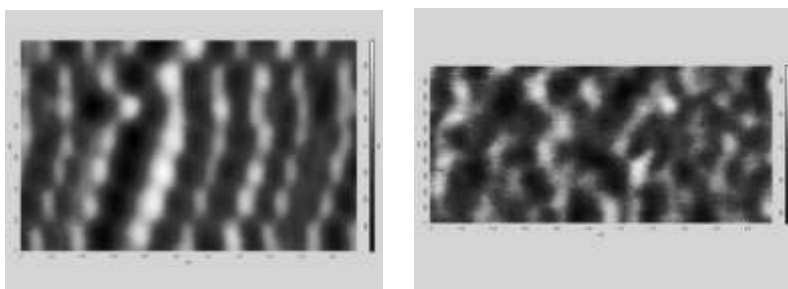


Рис.17. Western Digital, 320 Гб, WD3200AAJS, первый диск

В общей сложности сняты 21 магнитная картинка. На дисках есть участки как с полностью уничтоженной информацией, так и с

хорошо выраженными остатками информации.

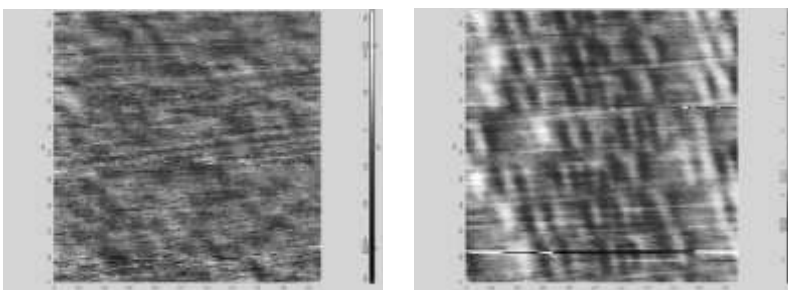


Рис.18. Samsung, 250 Гб, первый диск

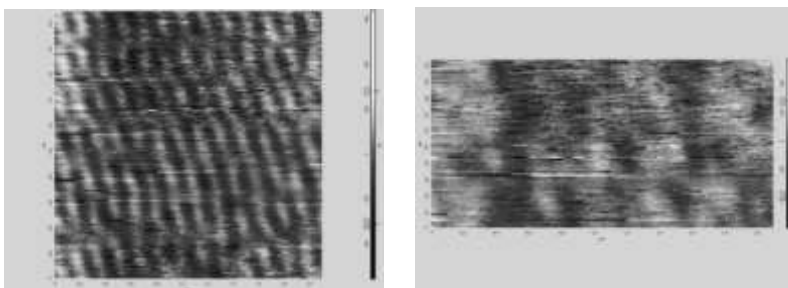


Рис.19. Samsung, 250 Гб, второй диск

В общей сложности сняты 21 магнитные картинки. На дисках есть участки как с

полностью уничтоженной информацией, так и с остатками разметки и информации.

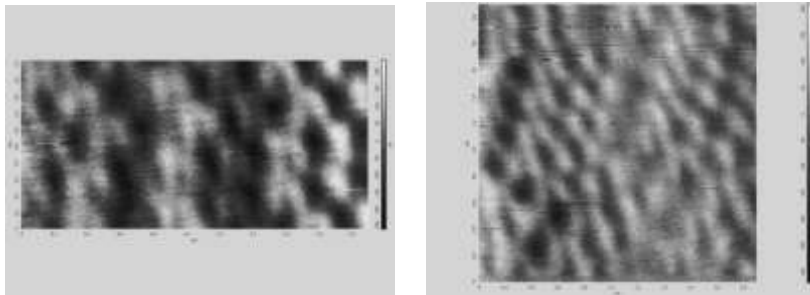


Рис.20. Samsung, 160 Гб

Снято 15 картинок. На всех сторонах дисков имеются остаточные следы информации.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что указанные режимы импульсного магнитного поля не всегда достаточно эффективно и надежно уничтожает информацию с современных типов винчестеров. Тем не менее, представляется проблематичным восстановление информации после воздействия на винчестеры указанным импульсным полем, поскольку она в любом случае оказывается сильно поврежденной.

Проведенная работа по оценке применимости разработанных ранее методов и устройств для гарантированного уничтожения информации на магнитных носителях показывает, что выпускаемые в настоящее время на серийных заводах устройства экстренного уничтожения информации могут широко использоваться в основном для нужд коммерческих предприятий, где категория скрытия информации ниже и ограничена для нужд государственных предприятий где категория сохранности информации высока.

В настоящее время как в России, так и за рубежом выпускается большая номенклатура изделий предназначенных для уничтожения информации с магнитных носителей, однако их технические характеристики не могут гарантировать полное уничтожение информации с жёстких дисков современных конструкций. Кроме того, в настоящее время отсутствуют промышленные устройства, предназначенные для гарантированного уничтожения информации с флэш-носителей и оптических дисков.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.seagate.com/www/en-us/about/news_room/press_releases/seagate_tech_nology_press_releases/
2. <http://www.hitachigst.com/hdd/research/>.
3. Shun-ichi Iwasaki and Kazuhiro OuchiCo-Cr,

Recording films with perpendicular magnetic anisotropy. IEEE transactions on magnetics, vol. mag-14, no. 5, september 1978.

4. Shun-ichi Iwasaki, Perpendicular magnetic recording, IEEE transactions magnetics, vol.1, mag-16, no. 1., january 1980.
5. С. Коженевский, С. Прокопенко, Методы сканирующей зондовой микроскопии для исследования поверхностей накопителей информации и восстановления данных, <http://epos.kiev.ua/pubs/spm.htm>