

К. т. н. Ю. Е. НИКОЛАЕНКО, к. т. н. В. Ю. КРАВЕЦ,
В. С. ГРАБОВСКИЙ

Украина, НТУУ «Киевский политехнический институт»
E-mail: nikol@industry.gov.ua, kravetz_kpi@ukr.net

Дата поступления в редакцию
30.05 2003 г.

Оппонент д. т. н. В. Т. ДЕЙНЕГА
(НИИ «Шторм», г. Одесса)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ НАКОПИТЕЛЯ НА ЖЕСТКИХ МАГНИТНЫХ ДИСКАХ

Анализ температурного поля накопителя на жестких магнитных дисках позволил выявить наиболее нагретые области накопителя, требующие эффективного теплоотвода.

В настоящее время существует множество модификаций накопителей на жестких магнитных дисках (НЖМД). Они различаются, в основном, объемами хранимой информации и быстродействием.

Стремление к увеличению быстродействия и повышению объема информации накопителей на жестких магнитных дисках приводит к увеличению тепловыделения в элементах конструкции при работе НЖМД [1, 2]. Это может привести к разогреву всего накопителя до температуры, при которой отдельные элементы его могут изменить свои характеристики или выйти из строя.

Чтобы выяснить, какое влияние может оказать повышение температуры на работу жесткого диска, рассмотрим его структуру [2, 3]. Несмотря на то, что со временем емкость жесткого диска возросла в тысячи раз, принципы его устройства не претерпели серьезных изменений. В любом накопителе на жестких магнитных дисках можно выделить три основных узла.

Первый узел представляет собой несколько (от двух до десяти) стеклянных, стеклокерамических или металлических дисков, покрытых с двух сторон магнитным материалом, на котором хранится информация. Диски расположены на одной оси и жестко связаны друг с другом.

Второй узел — механический, ответственный за вращение массива дисков и точное позиционирование системы считывающих головок. Ось дисков жестко связана с приводом электродвигателя. (Частота вращения дисков в современных системах достаточно высока. У дисков с E-IDE-интерфейсом она достигает 7200 мин^{-1} , а у SCSI-дисков — $15\,000 \text{ мин}^{-1}$.)

Каждой рабочей поверхности жесткого диска соответствует одна считывающая головка. Это означает, что общее число магнитных головок в системе в два раза выше количества дисков.

Два первых узла обычно конструктивно объединяются в виде одного гермоблока со встроенными воздушными фильтрами.

Третий узел выполняется в виде съемного электронного блока. Он закрепляется снизу на гермоблоке и содержит электронную часть, представляющую собой печатную плату с электронной схемой управления. На печатной плате установлено несколько специализированных микросхем: DSP (Digital Signal Processor), элементы схемы коррекции возможных ошибок, процессоры управления механической частью, а также микросхема кэш-памяти.

Температурные воздействия оказывают существенное влияние на выполнение тех или иных функций устройства. Так, частые и значительные изменения температуры поверхности дисков могут привести к нарушению магнитного слоя, что, в свою очередь, приведет к появлению порченных секторов. Вследствие температурного расширения материалов изменятся линейные размеры деталей и возрастают нагрузки в подшипниках механического узла, что приводит к увеличению уровня шума при работе накопителя. Высокая температура оказывает влияние и на электронную часть накопителя: процессоры систем управления могут генерировать ошибочные команды, что может привести к искажению или потере данных.

Все перечисленные факторы могут привести к значительному снижению быстродействия накопителя или даже к преждевременному выходу его из строя. Из результатов стандартных лабораторных испытаний компании Seagate (одной из ведущих производителей жестких дисков) следует, что, например, при повышении температуры работы жесткого диска с 25 до 42°C срок его службы снижается более чем в два раза. Все это обуславливает актуальность снижения температурного уровня накопителей.

Поскольку накопитель на жестких дисках представляет собой устройство с большим количеством разнородных элементов, то однозначно определить основной источник тепловыделения не просто. С одной стороны, можно предположить, что вращающиеся элементы НЖМД (с учетом возрастающей частоты вращения дисков) нагреваются значительно интенсивнее, чем схема управления электронного узла. С другой стороны, рост количества операций, выполняемых микросхемами управления, (при постоянном стремлении к снижению их массогабаритных характеристик) должен приводить к повышению их рабочих температур. В любом случае общий температурный уровень накопителя будет повышаться. Но

если определить локальные источники тепловыделения, то задача охлаждения накопителя может значительно упроститься.

В литературе сведения об исследовании температурных полей НЖМД крайне ограничены. Так, в [4] приводятся результаты тестирования накопителей на жестких магнитных дисках с интерфейсом SCSI. При одинаковой емкости (34,1 Гбайт) температура, измеренная в трех точках на корпусе НЖМД, для накопителей с различной частотой вращения дисков была различной, причем с увеличением частоты вращения температура корпуса повышалась. Так, для НМЖД Seagate ST336737LW семейства Barracuda 36ES с частотой вращения 7200 мин⁻¹ она составила 36,2, 36,0 и 34,6°C, в то время как для накопителей Seagate ST336705LW семейства Cheetah 36XL с частотой вращения 10000 мин⁻¹ — 37,2, 41,5 и 35,4°C, а для накопителей Seagate ST336752LW семейства Cheetah X1536LP с частотой вращения 15000 мин⁻¹ — 38,2, 44,1 и 37,2°C. Однако в [4] не указано, в каких местах корпуса измерялась температура и при какой температуре окружающей среды производились измерения.

Настоящая работа направлена на выявление локальных источников тепловыделения накопителя на жестких магнитных дисках и на анализ температурного состояния различных его узлов.

В качестве объекта испытаний использовался накопитель на жестких магнитных дисках типа Maxtor Diamond Max Plus 9, 60 GB ATA/133 HDD с интерфейсом управления E-IDE, работающий в обычном режиме в персональном компьютере. На его поверхности в разных точках были закреплены 8 медь-константановых термопар (см. рис. 1). Термопара T₁ располагалась на верхней крышке НЖМД в месте расположения подшипников устройства вращения. Термопары T₂—T₄ устанавливались на некотором расстоянии от центра вращения в зоне предполагаемой работы считывающих головок, термопара T₅ — на верхней крышке накопителя в стороне от влияния действия вращающихся частей над электронным узлом управления. На боковой стенке накопителя были установлены термопары T₆, T₇. Термопара T₈ закреплялась на крышке микросхемы управления электронного узла, который расположен в нижней части накопителя. Температура окружающего воздуха составляла 25°C.

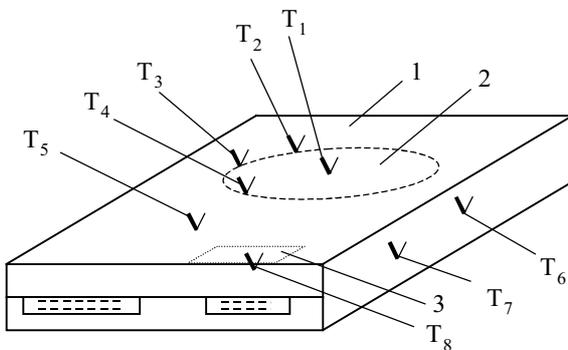


Рис. 1. Схема расположения термопар на элементах НЖМД: 1 — корпус накопителя; 2 — корпус накопителя в области расположения магнитных дисков; 3 — микросхема управления электронного узла; T₁—T₈ — медь-константановые термопары

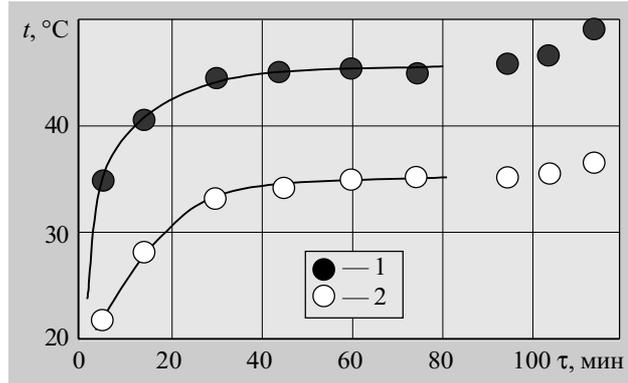


Рис. 2. Зависимость температуры элементов накопителя t от времени τ и режима работы в первой серии экспериментов:

1 — термопара T₈; 2 — термопара T₁

Исследование температурного поля НЖМД проводилось в шести наиболее типичных режимах работы накопителя. Показания термопар регистрировались с момента включения компьютера до установления стационарного теплового режима в каждой серии экспериментов.

В первой серии экспериментов исследовались следующие режимы работы: 1) накопитель не выполнял каких-либо операций и находился в ждущем режиме (от 0 до 85 мин); 2) производилась операция дефрагментации (от 85 до 105 мин); 3) осуществлялось копирование файлов (от 105 до 116 мин). На рис. 2 представлены результаты экспериментов в виде характерных зависимостей роста температуры в двух местах накопителя — на корпусе (в месте расположения подшипников устройства вращения жестких дисков, термопара T₁) и на поверхности управляющей микросхемы электронного узла (термопара T₈).

Как видно из рис. 2, уже в ждущем режиме элементы накопителя нагреваются до температуры 45°C. При этом температура корпуса основной управляющей микросхемы примерно на 10°C выше, чем температура в месте расположения подшипников вращающегося устройства. Выполнение операций дефрагментации и копирования файлов приводят к дальнейшему возрастанию температуры, причем микросхема разогревается значительно интенсивнее, чем подшипники устройства вращения. При этом температура на боковой стенке накопителя оказалась приблизительно равной температуре в зоне подшипников на поверхности накопителя: показания термопар T₆ и T₇ были практически такими же, как и термопары T₁.

Во второй серии экспериментов исследовались следующие три режима работы: 4) чтение-запись при случайном доступе информации объемом 10 Гбайт (в течение времени от 0 до 20 мин); 5) чтение-запись — удаление при случайном доступе информации объемом 10 Гбайт (от 21 до 40 мин); 6) работа в режиме холостого хода (от 41 до 115 мин). Эта серия экспериментов показала, что при всех режимах работы накопителя температура управляющей микросхемы была выше температуры боковых стенок накопителя примерно на 10—15°C (см. рис. 3). При режиме чтения

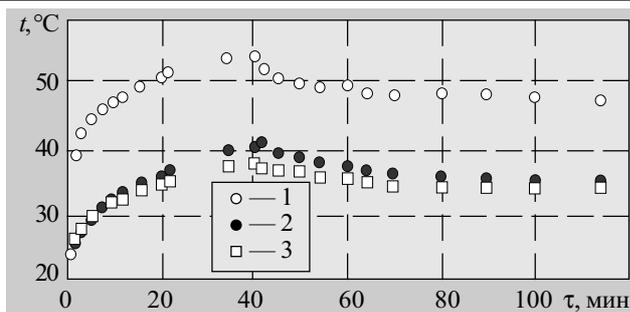


Рис. 3. Изменение температуры элементов накопителя в зависимости от режима работы во второй серии экспериментов:

1 — термопара T_8 ; 2 — средняя температура показаний термодпар T_2, T_3, T_4 ; 3 — средняя температура показаний термодпар T_6, T_7 записи в течение короткого интервала времени (от 0 до 1 мин) температура поверхности управляющей микросхемы (термопара T_8) возросла до 41°C и в дальнейшем монотонно повышалась, пока не достигла стационарного значения (приблизительно 52°C). Температура накопителя в районе действия магнитных головок жестких дисков (термодпары T_2-T_4) в этом режиме достигла 37°C , а температура боковых стенок (термодпары T_6, T_7) была еще меньше и не превышала 36°C .

Режим «чтение-запись — удаление» характеризовался дальнейшим повышением температуры всех элементов конструкции накопителя (примерно на 3°C). Работа в режиме холостого хода сопровождалась некоторым снижением температуры элементов, однако уровень ее был достаточно высокий по сравнению с первыми минутами работы компьютера.

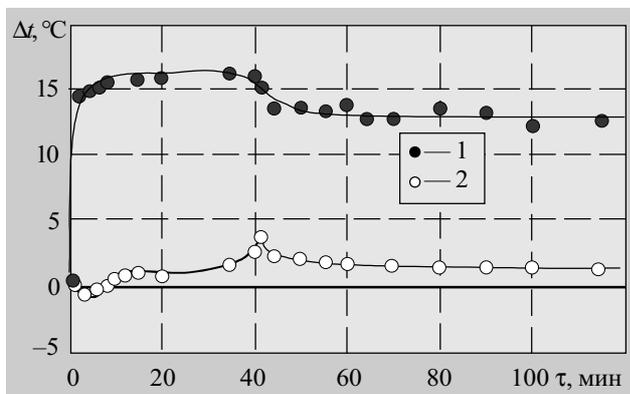


Рис. 4. Перепад температур между разогретыми элементами накопителя и боковой стенкой в зависимости от времени и режима работы:

1 — между корпусом микросхемы управления и боковой стенкой; 2 — между поверхностью корпуса в зоне работы считывающих головок и боковой поверхностью

Достаточно яркой характеристикой температурного уровня всех элементов накопителя является перепад температур между наиболее горячими точками и температурой боковой поверхности. (Боковая поверх-

ность выбрана как наиболее удобная для организации системы охлаждения накопителя [5].) На рис. 4 приведены такие зависимости. Они показывают, какой элемент накопителя наиболее подвержен действию температуры и на какую поверхность необходимо сбрасывать избыточную тепловую энергию.

Выводы

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по выявлению локальных источников тепловыделения современного накопителя на жестких магнитных дисках показали, что, помимо внешних причин (температура воздуха в помещении и внутри компьютера), повышение температуры НЖМД происходит за счет разогрева его элементов. Причем во всех типичных режимах работы более интенсивно нагреваются микросхемы в электронном узле управления, за счет чего, в основном, и увеличивается общий температурный уровень НЖМД.

Поскольку при повышении температуры $p-n$ -переходов в микросхемах наблюдается существенный рост отказов [6, с. 10], то в первую очередь необходимо обеспечить надежное охлаждение микросхемы управления. Это можно сделать, соединив теплопроводными шинами корпус микросхемы с более холодной боковой поверхностью накопителя или непосредственно с внешней теплоотводящей поверхностью устройства. В качестве теплопроводных шин могут быть выбраны миниатюрные тепловые трубы, эффективная теплопроводность которых в несколько раз, а то и на порядок, выше, чем у таких материалов как медь и серебро.

В качестве теплоотводящей поверхности может быть рекомендован, например, радиатор, установленный снаружи корпуса компьютера [5].

Дальнейшие исследования предполагается сосредоточить на разработке и исследовании конкретных вариантов таких теплоотводящих систем; в качестве теплопередающих элементов в них предполагается использовать миниатюрные тепловые трубы и термосифоны.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Гарматюк С. «Горячими» бывают не только процессоры // Компьютерное обозрение. — 2001. — № 29. — С. 24—26.
2. Дудкин А. Энциклопедия современного компьютера. Винчестеры // Магия ПК. — 2003. — № 2. — С. 4—10.
3. Леонтьев В. П. Новейшая энциклопедия персонального компьютера 2002. — М.: ОЛМА-ПРЕСС, 2002.
4. Денисов О., Назаров С. Жесткие диски с интерфейсом SCSI // Компьютер пресс. — 2001. — № 11. — С. 94—100.
5. Николаенко Ю. Е., Кравец В. Ю., Стрюченко В. А., Белоколенко А. С. Охлаждение перспективных накопителей на жестких магнитных дисках с применением тепловых труб // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 2002. — № 6. — С. 22—25.
6. Федасюк Д. В. Методи та засоби теплового проектування мікроелектронних пристроїв. — Львів: Вид-во ДУ «Львівська політехніка», 1999.