

Высоконадежные твердотельные накопители информации компании Foremay

Константин ВЕРХУЛЕВСКИЙ
info@icquest.ru

Постоянно увеличивающаяся производительность вычислительных систем, широкое внедрение облачных серверов и повсеместное использование промышленных компьютеров требует наличия устройств хранения данных, обладающих большой емкостью и быстродействием наряду с низким энергопотреблением и повышенной стойкостью к внешним воздействиям. Такими свойствами отличаются твердотельные накопители (SSD, Solid State Drive), которые благодаря развитию технологий их производства и уменьшению стоимости постепенно вытесняют традиционные HDD-диски. В статье рассмотрена SSD-продукция Foremay — компании, являющейся одним из ведущих разработчиков и поставщиков высоконадежных твердотельных накопителей информации.

Введение

Растущая популярность SSD-накопителей обусловлена рядом преимуществ, главное из которых — очень высокая скорость чтения и записи, недостижимая на практике механическими жесткими дисками, чей предел составляет 130–140 Мбит/с. Например, многие предлагаемые в настоящее время модели SSD имеют скорость 570 Мбит/с, превышающую даже пропускную способность стандарта SATA III. Такое быстродействие позволяет загрузить операционную систему за несколько секунд, значительно ускорить запуск и использование установленного программного обеспечения и, как следствие, повысить производительность труда.

Высокая надежность SSD во многом определяется отсутствием магнитных носителей и вращающихся механизмов, очень чувствительных к жестким условиям эксплуатации. Так, SSD-накопители не теряют работоспособности под воздействием сильных ударов, вибрации, давления и высоких температур,

не требуют строго горизонтальной или вертикальной пространственной ориентации. Согласно статистике, в среднем менее 1% SSD-устройств выходит из строя после первого года работы, для HDD эта цифра составляет 15%, что неприемлемо для ответственных применений, поскольку ущерб при потере информации может многократно превышать стоимость диска [1]. Безопасность хранимых данных также является важным фактором для ответственных применений, встроенная функция быстрого уничтожения информации при угрозе ее утечки стала стандартной при производстве SSD-дисков. Аналогичная задача у HDD-накопителей занимает слиш-

ком много времени, так как при этом их необходимо физически разрушить или размагнитить, что не так уж просто. По эксплуатационным характеристикам выигрыш тоже на стороне SSD: их применение снижает затраты на электроэнергию примерно втрое, они обладают более низким тепловыделением и нулевым уровнем собственного шума. Сравнительные характеристики накопителей HDD и SSD представлены в таблице 1.

К недостаткам SSD-накопителей можно отнести лишь более высокую цену за 1 Гбайт емкости, но эта величина значительно снизилась по сравнению с первыми моделями и имеет тенденцию к дальнейшему сокра-

Таблица 1. Ключевые отличия HDD- и SSD-накопителей информации

Параметр	SSD	HDD (10 000 rpm)
Среднее время доступа к данным, мс	0,1	8
Скорость чтения/записи, Мбит/с	550/500	65/63
ИOPS (при последовательном/случайном доступе)	81 000/30 000	11 000/220
Энергопотребление, Вт	<2	16
Диапазоны рабочих температур, °C	0...+70 или -45...+85	+5...+55
Стойкость к ударам/вибрации, g	2000/20	225/1,2
Соответствие требованиям MIL-STD-810F/G	Да	Нет
Уровень собственного шума, дБ	0	35

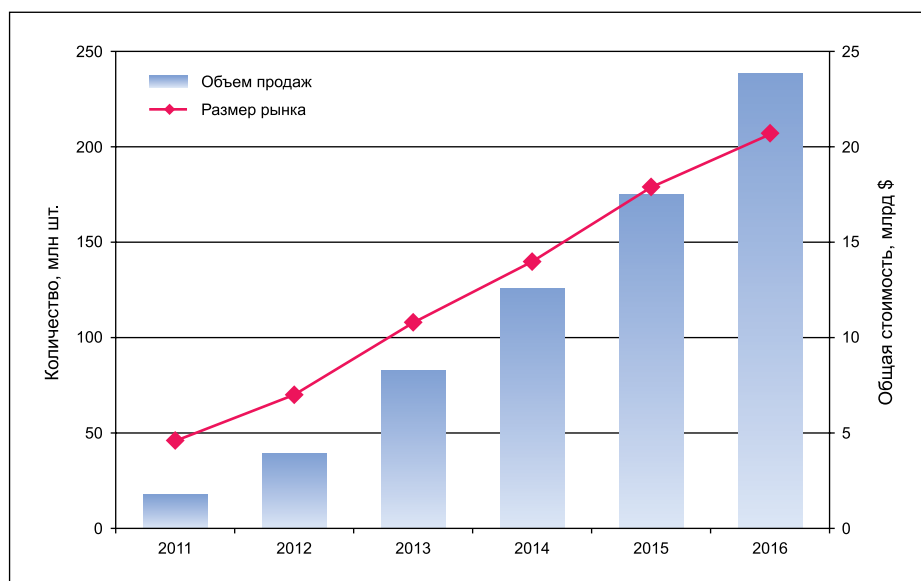


Рис. 1. Статистические данные по рынку SSD-дисков за 2011–2016 гг.

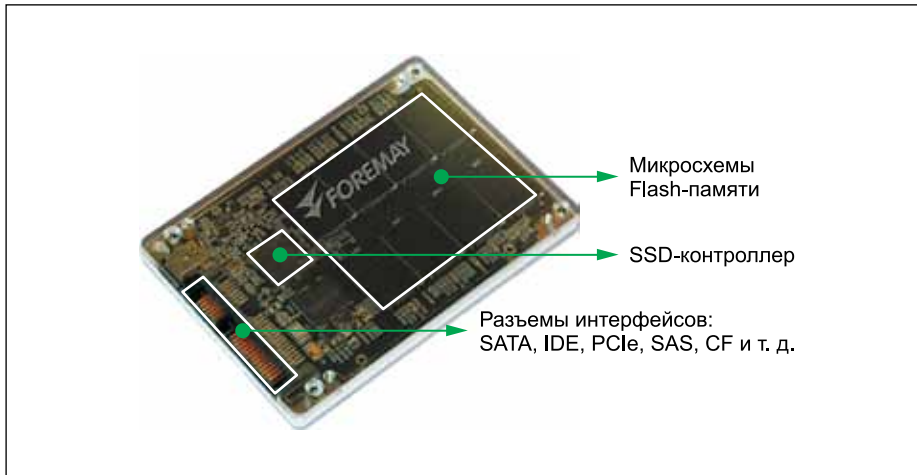


Рис. 2. Основные блоки SSD-накопителя информации

диапазон температур $-40...+85$ °C. Улучшить степень механической и электрической защиты позволяет нанесение на печатную плату и микросхемы специального конформного покрытия, которое не применяется в бытовых устройствах. Из дополнительных опций следует назвать защиту от потери питания, обычно это конденсатор большой емкости, заряда которого достаточно для завершения диском необходимых операций.

SSD-накопители компании Foremay

Компания Foremay, основанная в 2002 году группой ветеранов ИТ-отрасли из IBM, Cisco, NEC, Alcatel и AT&T Bell Labs, является ведущим разработчиком и поставщиком высоконадежных твердотельных накопителей информации, используемых в вычислительных центрах промышленного и специального назначения, встраиваемых системах и серверном оборудовании, рабочих станциях и мобильных устройствах [3]. Компания принадлежит к числу лидеров рынка, например, в свое время она первой представила 2,5" SATA SSD-диски емкостью 1, 2, 4, 8 и 10 Тбайт, 1,8" micro-SATA SSD-устройства емкостью 2 Тбайт и промышленные накопители формата 2,5" NVMe (SFF-8639) с емкостью 8 Тбайт.

Foremay предлагает полную линейку SSD-решений, начиная от микросхем (DOC, Disk-on-Chip) Flash-памяти и заканчивая модулями (DOM, Disk-on-Module) и твердотельными накопителями типа plug and play, пользующимися наибольшей популярностью. Высокое качество изделий гарантируется строгой системой контроля производственного процесса и 100%-ным тестированием всех комплектующих. В настоящее время семейство SSD-устройств Foremay

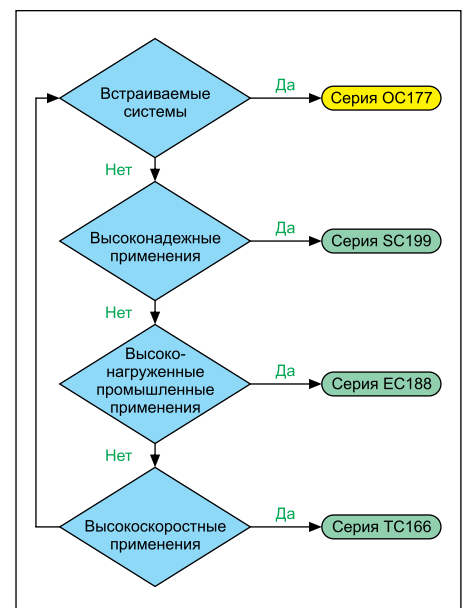


Рис. 3. Упрощенный алгоритм выбора SSD-дисков компании Foremay

щению. Также какое-то время назад, в начале производства SSD-дисков, существовала проблема их короткого срока эксплуатации. Сейчас же, при соблюдении определенных правил, время работы может достигать десятков лет, не редкость гарантия производителя на диски в 5 или даже 10 лет.

На основании всего сказанного можно сделать вывод, что эффективность использования SSD существенно выше, это подтверждается и появлением стабильного спроса на подобные носители информации. Так, согласно данным аналитиков компании IHS iSuppli, в 2016 году суммарный оборот рынка твердотельных дисков превысил \$20 млрд (рис. 1).

Твердотельные накопители — это немеханические полупроводниковые запоминающие устройства, выполненные на основе массива микросхем Flash-памяти, характеризующиеся минимальной задержкой операций чтения или записи и большим количеством IOPS (Input/Output Operations per Second, операций ввода/вывода в секунду). Они изготавливаются в различных форм-факторах и с самыми разными интерфейсами подключения, от устаревшего PATA и самого распространенного SATA (включая CFast) до скоростных PCI Express. Компактные накопители для ноутбуков начали переход от mSATA к новому интерфейсу M.2 NGFF. Управление памятью осуществляется при помощи специального контроллера, указывающего место для раз-

мещения данных и обеспечивающего процесс чтения/записи (рис. 2). Наиболее распространенный вид SSD-накопителей используется для хранения информации память типа NAND, представленную в трех вариантах: SLC (в ячейках можно сохранить 1 бит данных), MLC (2 бита) и TLC (3 бита).

Каждая ячейка Flash-памяти может выдержать ограниченное число циклов записи, с увеличением количества бит на одну ячейку этот показатель уменьшается. Для бытового применения (ноутбуков, планшетов и т. д.) обычно используются MLC- и TLC-решения, имеющие в среднем не более 3000 и 1000 циклов перезаписи соответственно, однако их вполне достаточно для обычных задач, где жизненный цикл изделия не превышает 2–3 лет. Для ответственных применений, как правило, предназначен более дорогой вариант памяти — SLC с количеством циклов перезаписи, достигающим 100 тыс. и гарантирующим долговременную надежность устройства. Другие отличия промышленного и бытового накопителя касаются схемотехнических и конструктивных особенностей и во многом определяются условиями эксплуатации. Бытовые SSD-устройства обладают весьма неплохим диапазоном рабочих температур $0...+70$ °C [2]. Производители высоконадежных накопителей закладывают в проект максимально надежные компоненты, в том числе рассчитанные на расширенный

Таблица 2. Основные различия серий SSD-накопителей Foremay

Серия	SC199	EC188	TC166	OC177
Основное назначение	Высоконадежные ПК/ноутбуки, серверы	Сетевые серверы (NAS, SAN, RAID)	Высокопроизводительные компьютеры	Встраиваемые системы, игровые серверы
Срок службы* (чтение/запись), лет	150/120	120/75	120/50	150/(50–120)
Срок сохранности данных, лет	10	10	10	10
Скорость чтения/записи, Мбит/с	550/500	550/500	550/500	550/500
Время доступа, мс	0,1	0,1	0,1	0,1
Диапазон рабочих температур, °C	-40...+85 и шире	0...+70 и шире	0...+70 и шире	-40...+85/0...+70
Влажность, %	5–90	5–90	5–90	5–90
MTBF, млн часов	5	4	3	3–5
Стойкость к ударам/вибрации, g	1500/20	1500/16	1500/20	1500/20

Примечание. *32 Гбит SSD-диск с перезаписью не более 50 Гбит/сут.

Таблица 3. Характеристики стандартных моделей SSD-накопителей Foremay

Серия	Форм-фактор и интерфейс	Скорость чтения/записи, Мбит/с (max)	Емкость накопителя, Гбайт	Дополнительные опции
SC199	2,5" SATA III	550/500	30–4000	S1, S2, S3, HE, CC, SC, WP, OP
	2,5" SATA II	260/260	30–4000	S1, S2, S3, HE, CC, SC, WP
	1,8" micro SATA III	550/500	30–500	S1, HE, CC
	1,8" micro SATA II	260/260	30–500	S1, S2, S3, HE, CC, WP
	1,8" SATA	260/260	30–128	S1, S2, HE, CC
	2,5" SFF-8639 NVMe	1600/1500	1000–4000	S1, S2, S3, HE, CC, SC
	VPX	3800/3100	500–2000	S1, HE
	2,5" IDE/PATA	100/80	30–1000	S1, S2, S3, HE, CC, WP
	1,8" IDE/PATA	100/80	30–128	S1, S2, HE, CC
	CompactFlash	90/80	16–128	S1, HE, CC
EC188	CFast II	160/150	16–64	S1, HE, CC
	PCIe x8 Gen.3.0	3800/3100	1000–8000	S1, HE
	PCIe x8 Gen.2.0	2400/2000	1000–6000	S1, HE
	PCIe x4 Gen.2.0	1500/1400	2000–12000	S1, HE, OP
	PCIe x4 Gen.1.0	800/700	2000–32000	S1, HE
	PXLe/CPCle	3800/3100	1000–8000	S1, HE
	VPX	3800/3100	1000–8000	S1, HE
	2U Rackmount	1 млн IOPS	24000–200000	S1, HE
	2,5" SFF-8639 NVMe	1600/1500	1000–8000	S1, HE, OP
	2,5" SAS	550/400	500–2000	S1, HE, SC
TC166	2,5" SATA III	550/510	500–8000	S1, HE, SC
	3,5" SATA III	550/510	1000–8000	S1, HE, SC
	2,5" SATA II	250/210	60–10000	S1, CC, HE
	1,8" micro SATA	550/510	60–480	S1, CC, HE
	1,8" SATA	550/510	30–256	S1, CC, HE
	3,5" SATA III	550/500	60–4000	S1, CC, HE
	2,5" IDE/PATA	100/80	60–1000	S1, CC, HE
	1,8" IDE/PATA	90/80	8–256	S1, CC, HE
	CompactFlash	90/80	8–256	S1, CC, HE
	CFast	320/180	30–128	S1, CC
OC177	1,8" ZIF	100/95	30–256	S1, CC, HE
	mSATA III, 30×50 мм	550/510	30–120	S1, HE, CC
	mSATA III, 30×25 мм	550/510	30–60	S1, HE, CC
	half slim SATA III	500/500	30–120	S1, HE, CC
	SATA DOC	450/200	16–64	S1, HE
	1,8" micro SATA	260/260	32–240	S1, HE, CC
	1,8" SATA	260/260	32–128	S1, HE, CC
	1,8" ZIF/IDE	100/95	32–128	S1, HE, CC
	M.2 NGFF	450/350	32–256	S1, HE, CC

Примечания. Расшифровка опций

S1: Защитное стирание (тип 1), запускается программным способом.

S2: Защитное стирание (тип 2), аппаратный запуск (внешняя кнопка или переключатель).

S3: Защитное стирание (тип 3), уничтожение данных без возможности повторного использования накопителя.

HE: Аппаратное шифрование.

CC: Конформное (защитное) покрытие.

SC: Суперконденсатор для защиты от провалов напряжения питания.

OP: Поддержка спецификации TCG-Opal.

WP: Защита от записи (только чтение).

содержит более 100 различных моделей, сгруппированных в четыре отдельные серии в зависимости от основного назначения. Для упрощения принятия решения при выборе подходящей серии можно воспользоваться блок-схемой, изображенной на рис. 3, и таблицей 2.

Твердотельные диски Foremay с максимально доступной на рынке емкостью обладают защитой от ударов и вибрации, устойчивы к перепадам температур. Отличный уровень криптозащиты, базирующийся на усовершенствованных технологиях шифрования, наравне с функцией самостирания позволяет применять их в приложениях с повышенными требованиями безопасности. Одно из главных преимуществ продукции компании Foremay — увеличенный срок службы по сравнению с аналогами от других производителей. SSD-диски имеют широкий выбор доступных диапазонов рабочих температур (0...+70; –40...+85; –45...+95; –55...+125 °C), соответствуют либо превосходят требования стандарта MIL-STD-810F/G, кроме того, ряд высоконадежных моделей выпускается в герметизированном пыле- и влагозащищенном исполнении.

В качестве разъемов интерфейсов предусмотрены стандартные SATA, mSATA, micro SATA, half slim SATA, IDE, NVMe U.2, M.2, CF,

CFast, SAS, PCIe, PXLe, VPX, CPCI, GiGe, FC или описанные в технических условиях заказчика. В таблице 3 представлены основные параметры популярных стандартных моделей SSD-накопителей Foremay. Предлагаемое заказное проектирование, помимо этого, может включать в себя доработку корпусного исполнения выбранного устройства с целью повышения степени защиты (IP57 и более), создание специальных антивибрационных кронштейнов для жестких условий эксплуатации, позволяющих значительно увеличить надежность крепления, а также разработку с нуля комбинированных накопителей определенной емкости на основе SLC- и MLC-дисков.

Для обеспечения надежного функционирования устройств используются:

1. Технология выравнивания износа.

Ресурс твердотельного накопителя напрямую зависит от количества циклов перезаписи отдельных блоков памяти. Если регулярно размещать данные в один и тот же блок, он быстро выходит из строя, тем самым уменьшается первоначальная емкость диска. Для равномерного распределения данных по всем областям памяти Foremay разработала собственные динамические алгоритмы, реализуемые SSD-контроллером.

2. Обнаружение и коррекция ошибок.

В SSD-устройствах Foremay применяется BCH ECC — наиболее действенный алгоритм исправления ошибок, позволяющий устранить до 12 ошибочных бит в каждом блоке размером 512 кбайт.

3. Управление поврежденными блоками памяти.

Поврежденными называют блоки памяти, содержащие один или более бит, достоверность которых не гарантируется. Они могут появиться во время транспортировки или в процессе эксплуатации. Foremay использует эффективный алгоритм управления подобными блоками для детектирования и корректировки ошибок в течение всего срока службы. Эта процедура совершенно открыта для пользователя при применении SMART.

4. SMART (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology — технология самоконтроля, анализа и отчетности).

Служит для оценки состояния диска встроенной аппаратурой самодиагностики и предсказания времени выхода его из строя. Помогает обнаружить потенциальную проблему, выполнить повторную калибровку, коррекцию ошибок и таким образом предотвратить утерю важных данных.

5. Технология NCQ (Native Command Queuing — аппаратная установка очередности команд).

Предназначена для получения максимального быстродействия и увеличения количества операций в секунду (IOPS). С учетом наиболее важных системных команд позволяет оптимально управлять последовательностью запросов к диску, повышая производительность задач, связанных с произвольным чтением, а также обработкой данных от двух и более источников.

Продукцию Foremay используют в своих устройствах такие известные бренды, как Boeing, Harris, NEC, Honeywell, Lockheed martin, NASA, Mitsubishi motors, Fujitsu, Airbus, Cisco, Sun Microsystems, и многие другие. Среди типовых применений можно отметить:

- устройства хранения, используемые для решения критически важных, ответственных задач (оборудование военного и правительственного назначения);
- промышленные портативные компьютеры для жестких условий эксплуатации;
- встраиваемые системы, требующие наличия компактных SSD-накопителей;
- системы резервирования и восстановления после аварийных ситуаций;
- телекоммуникационные коммутаторы и серверы 3G/4G-сетей;
- серверное оборудование банков и страховых компаний;
- промышленные серверы, веб-серверы, системы сбора данных;
- ATM/POS-терминалы;
- ПК/ноутбуки для графических дизайнеров, архитекторов, разработчиков ИС и т. д.;

- робототехника и АСУ;
- навигационное оборудование;
- оборудование нефте- и газодобывающей отрасли;
- системы безопасности и видеонаблюдения.

Твердотельные накопители серии SC199, относящиеся к старшим представителям линейки SSD-продукции компании Foremay, изготавливаются на основе специально отобранных микросхем Flash-памяти типа NAND, обладают расширенным набором дополнительных опций и повышенной прочностью конструкции. Могут успешно использоваться в полевом оборудовании нефте- и газодобычи, эксплуатируемом в неблагоприятных условиях окружающей среды, рабочих станциях с высокой степенью защиты, применяемых в аэрокосмической и военной отрасли промышленности, а также в другом высоконадежном оборудовании. Данная серия включает накопители 11 типоразмеров с емкостью 16–4000 Гбайт и несколькими, наиболее распространенными интерфейсами, внешний вид отдельных устройств показан на рис. 4. Скоростные показатели зависят от варианта исполнения. Например, накопители типоразмера 2,5" с поддержкой NVMe в режиме чтения развивают скорость до 1600 Мбит/с, а в режиме записи — до 1500 Мбит/с. В зависимости от применения существует возможность выбора подходящего накопителя: в рамках серии доступны модификации, рассчитанные как на обычный (–40...+85 °С), так и на расширенный (–55...+125 °С) диапазон температур.

Все устройства серии SC199 предусматривают аппаратное шифрование по алгоритму AES с 256-разрядным ключом, а 2,5" SATA III версии, кроме того, имеют поддержку стандарта TCG Opal 2.0. С целью устранения возможности несанкционированного доступа к данным в зависимости от модели применяются от одного до трех вариантов (типов) защитного стирания. Первые два различаются способом активации (программный или аппаратный при помощи внешнего воздействия) и позволяют после реформатирования повторно использовать все блоки памяти. Третий тип гарантирует полное стирание данных и невозможность последующего восстановления информации. При этом происходит уничтожение ключа шифрования и встроенного ПО, а также физическое разрушение ячеек NAND-памяти, в течение нескольких секунд накопитель становится непригодным к эксплуатации. Подобные операции выполняются при помощи встроенного SSD-контроллера UC007, являющегося собственной разработкой компании Foremay.

Серия EC188 предназначена для хранения и обработки информации в облачных системах, надежных корпоративных рабочих станциях и производительных серверах с большим количеством одновременных запросов, требующих наличия накопителей с большой



Рис. 4. Внешний вид некоторых SSD-накопителей из серии SC199



Рис. 5. Внешний вид накопителя 2,5" SATA III из серии EC188



Рис. 6. Внешний вид накопителя 2,5" SATA III из серии TC166

емкостью, скоростью чтения/записи и хорошей износоустойчивостью. Двенадцать типовых моделей, предлагаемых в настоящее время, оптимизированы для использования в RAID-массивах и могут эксплуатироваться в двух диапазонах рабочих температур (–40...+85 и 0...+70 °С). Устройства размером 2,5" и 3,5", выполненные на основе интерфейсов SATA III и SAS (Serial Attached SCSI), обладают максимальным дисковым пространством 8 Тбайт (рис. 5). Их скорость чтения/записи не превышает 550/510 Мбит/с. Твердотельные накопители данного типа совместимы со всеми распространенными серверными операционными системами: Windows, Mac OS X, Linux (промышленная версия), Solaris, FreeBSD и т. д. Серийные устройства на базе интерфейса PCIe имеют емкость 1–32 Тбайт и выгодно отличаются повышенной до 3800/3100 Мбит/с скоростью чтения/записи. Благодаря применению матрицы из шести независимых дисковых PCIe-накопителей, включенных в массив RAID 0, можно получить масштабируемое решение объемом до 200 Тбайт. Следует обратить внимание и на готовую серверную платформу 2U Rackmount, представляющую собой идеальное решение для корпоративной сети хранения данных (SAN, Storage Area Network). Подключение к сети осуществляется при помощи интерфейсов 10/40/56 GbE, PCIe или Fiber Channel. При операциях с произвольным доступом к памяти производительность 2U Rackmount достигает 1,5 млн IOPS.

Серия TC166 содержит высококачественные SSD-накопители, ориентированные на применение в терминальных системах оборонного и промышленного назначения. Устройства емкостью 8 Гбайт – 10 Тбайт имеют низкое собственное потребление и малый уровень шума, хороший запас прочности и длительный срок бесперебойной эксплуатации. Помимо интегрированных технологий управления Flash-памятью, таких как SMART, APM (Advanced Power Management) и ECC, накопители TC166 в зависимости от предназначения получают дополнительные функции и свойства: аппаратного шифрования, быстрого удаления информации с учетом требований военных стандартов и защитного покрытия корпуса. В серии преобладают модели, оснащенные SATA-интерфейсом. Максимальная скорость операций чтения/записи, зависящая от версии стандарта, составляет 550/510 Мбит/с для модификаций SATA III и 250/210 Мбит/с для SATA II (рис. 6). Возможность выбора из трех стандартных форм-факторов (1,8", 2,5" или 3,5") позволяет использовать устройства серии как в настольных системах, так и в ноутбуках. В рамках серии доступны и съемные накопители промышленного использования в виде карт памяти, отлично подходящие для использования в качестве загрузочных дисков.

Основная особенность серии OC177 — минимальные габариты. Накопители идеаль-



Рис. 7. Внешний вид накопителя SATA DOC из серии OC177

но подходят для хранения данных во встраиваемых системах различного назначения. Выполненные в виде модулей и отдельных микросхем, устройства OC177 в разных форм-факторах с интерфейсами SATA, micro SATA, IDE, ZIF могут успешно эксплуатироваться в промышленных одноплатных компьютерах или в других ответственных применениях. Каждый накопитель выпускается в двух вариантах: общего назначения с допу-

стимыми рабочими температурами в пределах 0...+70 °С и в высоконадежном исполнении с диапазоном температур –40...+85 °С. При этом первые устройства отличаются от вторых увеличенным в 2–4 раза значением максимальной емкости.

Особый интерес представляют твердотельные накопители SATA DOC, изготавливаемые в виде микросхем. Оснащенные стандартными интерфейсами IDE или SATA, они характеризуются емкостью 16–64 Гбайт NAND-памяти и скоростью чтения/записи 450/200 Мбит/с. Конструктивно выполнены в корпусах размером от 22×22×1,8 мм (рис. 7). Такие накопители предназначены для монтажа непосредственно на плату, устраняют необходимость установки отдельного диска для хранения данных. С учетом заявленной высокой надежности, устойчивости к вибрациям, ударам и температурным перепадам устройства на их основе можно использовать в полевых условиях.

Заключение

В настоящее время рынок SSD-продукции продолжает расти ударными темпами, постепенно вытесняя традиционные жесткие

диски. Емкость и надежность современных SSD-накопителей постоянно совершенствуются, появляются новые интерфейсы, улучшается специализированное программное обеспечение. Компания Foremay, длительное время занимающаяся выпуском как типовой, так и заказной SSD-продукции, предлагает широкую линейку твердотельных накопителей. Высоконадежные устройства Foremay, предназначенные преимущественно для ответственных применений, выгодно отличаются высоким быстродействием, разнообразием конструктивного исполнения и используемых интерфейсов и гарантируют сохранность данных в течение всего заявленного срока эксплуатации. ■

Литература

1. Баишев А. Твердотельные диски — надежное решение для ответственных применений. Часть 1 // Современные технологии автоматизации. 2007. № 3.
2. Кабачник Д. Развитие рынка промышленных твердотельных накопителей // Современные технологии автоматизации. 2016. № 3.
3. Официальный сайт компании Foremay. www.foremay.net