



# Твердотельный накопитель SSD (*solid-state drive*)

# История создания SSD



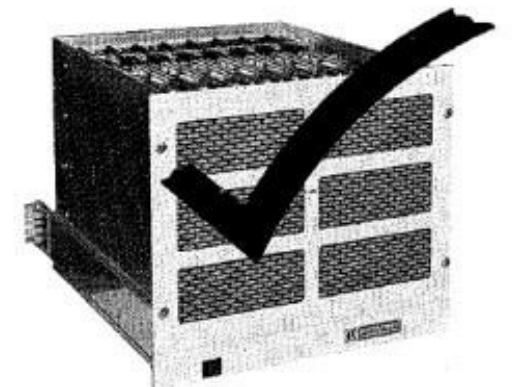
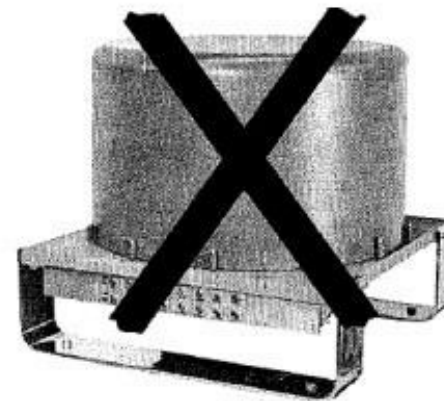
Свое название SSD (Solid State Drive) получили потому, что в их конструкции не было подвижных элементов. Шутка ли, но первый твердотельный накопитель появился аж в 1976 году — задолго до начала производства флеш-памяти.

Bulk Core, разработанный компанией Dataram, состоял из специального шасси размером 19x15,75 дюймов, на котором располагались 8 больших планок RAM-памяти объемом 256 Кбайт каждая. Оценивался Bulk Core в **9700 долларов**.

**Replace Fixed-Head Disc  
with Dataram**



**BULK  
CORE**



Еще одним из первооткрывателей SSD называют устройство хранения информации, созданное американскими инженерами из компании StorageTek в **1978** году. Оно было выполнено на полупроводниковых ОЗУ (RAM) микросхемах памяти, которые использовались в первых полупроводниковых компьютерах.

STC 4305 был размером с целую комнату и мог хранить 45 Мбайт информации. Пропускная способность составляла 1,5 Мбайт/с, что было примерно в 7 раз выше аналогичного показателя жесткого диска IBM 2305.



STORAGE TECHNOLOGY  
STC 4305 (1978)

**400 тысяч долларов**



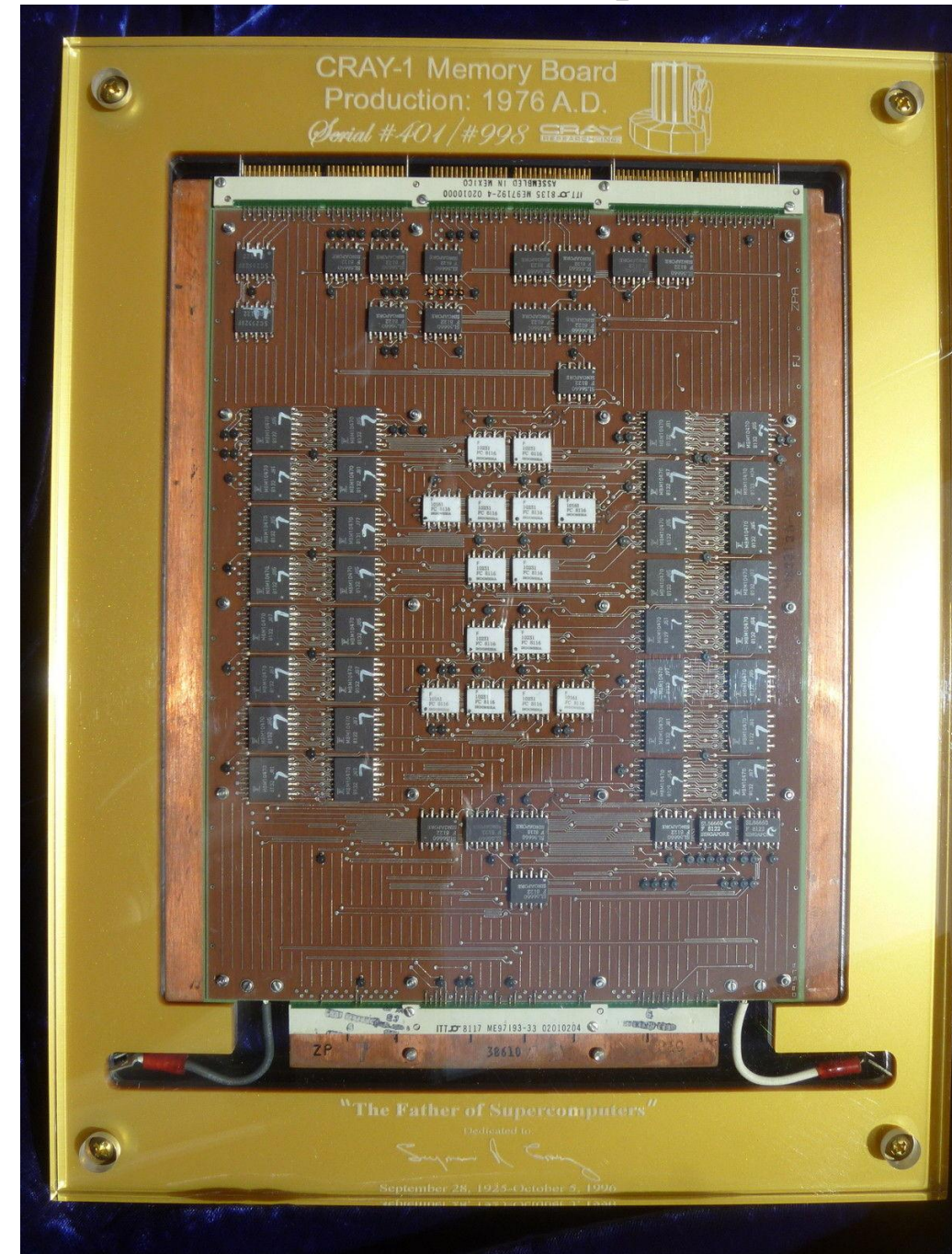
В 1982 году компания Axlon представила линейку твердотельных накопителей, предназначенных для использования с компьютерами Apple. Устройства получили название Apple II RAMDisk. Из названия становится ясно, что эти накопители использовали RAM-память.

Их емкость была не столь внушительна: самой популярной стала версия с 320 Кбайт памяти. Кстати, чтобы предотвратить потерю информации, в комплекте с накопителем поставлялась и подзаряжаемая батарея.



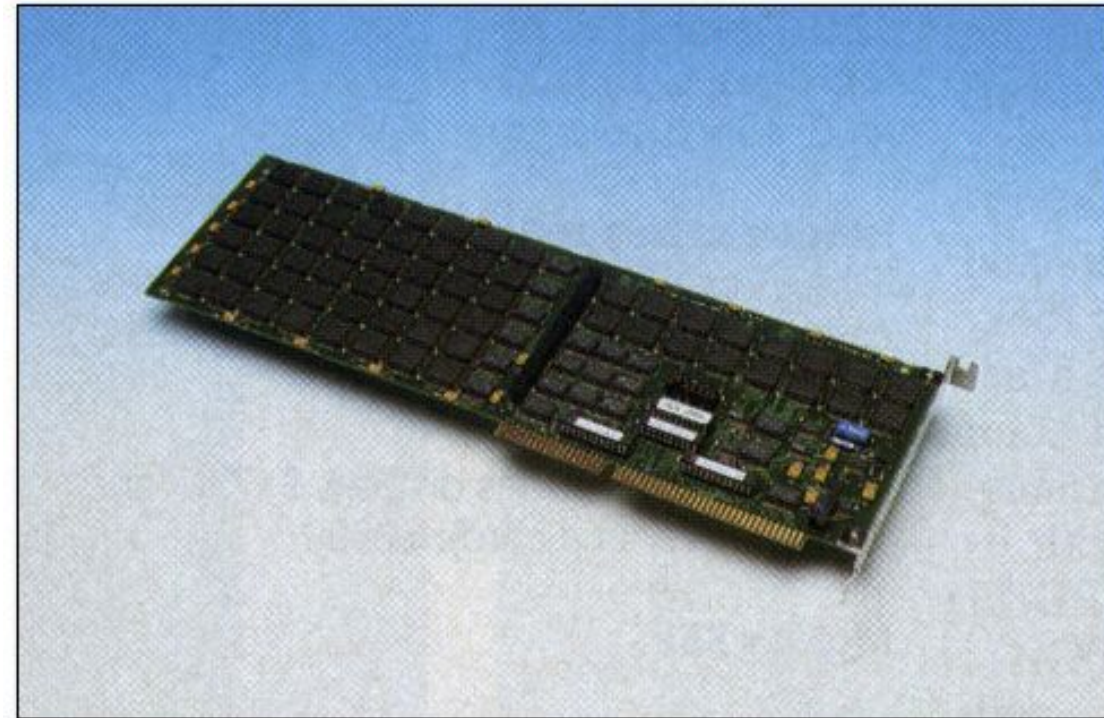
Более совершенный SSD-диск был создан в 1984. Его производителем стала известная в то время компания Cray, специализирующаяся на производстве суперкомпьютеров для военных и промышленности.

В производство было запущено сразу 2 модели: Cray1 и Cray2, отличавшихся скоростью передачи данных – 100 Мб/сек и 320 Мб/сек соответственно.

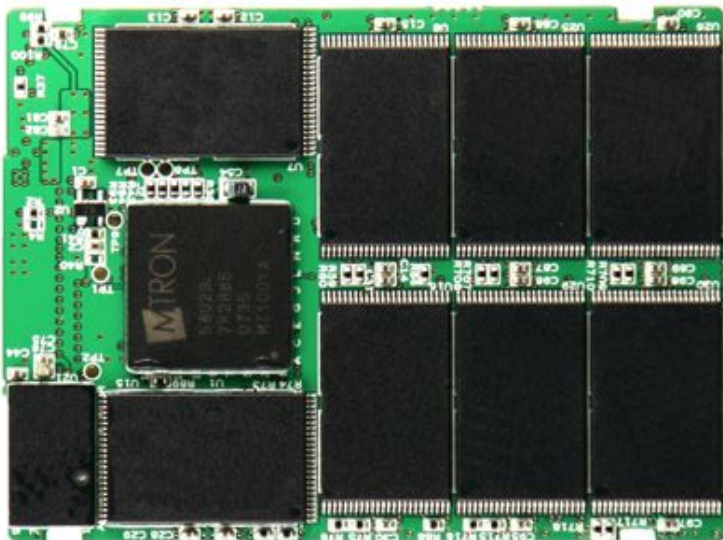


- В 1995 году, израильская компания **M-Systems** создает свою версию накопителя. Полупроводниковый накопитель, использующий flash-память, изначально предназначался исключительно для обеспечения нужд военных. Это был первый твердотельный накопитель, выполненный в привычном нам 3,5-дюймовом формате. Объем девайса составлял от 16 до 896 Мбайт. Цена одного такого SSD достигала **нескольких десятков тысяч долларов.**

- Но начало бурному развитию рынка «твердотельников» положила компания Samsung в 2006 году, представив 2,5-дюймовый твердотельный накопитель емкостью 32 Гбайт и стоимостью **699 долларов.**



- В 2008 году южнокорейская компания Mtron Storage Technology представила миру действительно стоящую замену, популярным тогда, как собственно и сейчас, традиционным жестким дискам. Новый накопитель имел объем 128 Гб и мог считывать и записывать информацию со скоростью 260 и 240 Мб/сек.
- Спустя еще год в продаже начали появляться целые линейки твердотельных дисков емкостью от 128 до 512 Гб.
- Первый SSD-накопитель, перешагнувший порог в 1 Тб появился в конце того же 2009 года благодаря компании OCZ Technology.



\$ 700 - \$1 000



\$1 000 - \$2 000





# Современные продавцы SSD

Диски SSD изготавливают многие компании. Еще больше компаний продают их под своими лейблами не изготавливая (OEM производство).

- **Intel;**
- **Micron** (торговая марка **Crucial**);
- **Samsung;**
- **Corsair;**
- **SanDisk;**
- **Transcend;**
- **ADATA;**
- **Toshiba (Seagate);**
- **Kingston;**
- **OCZ;**
- **Plextor ( Lite-On);**
- **Apacer;**
- **Silicon Power.**

Основные лидеры  
рынка



# Типы памяти SSD



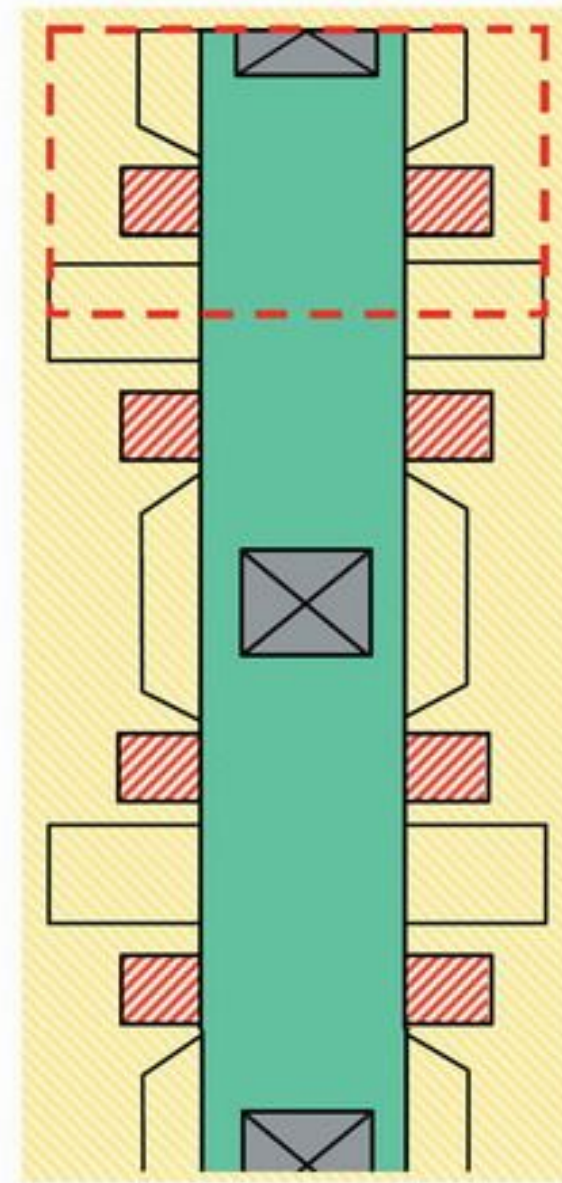
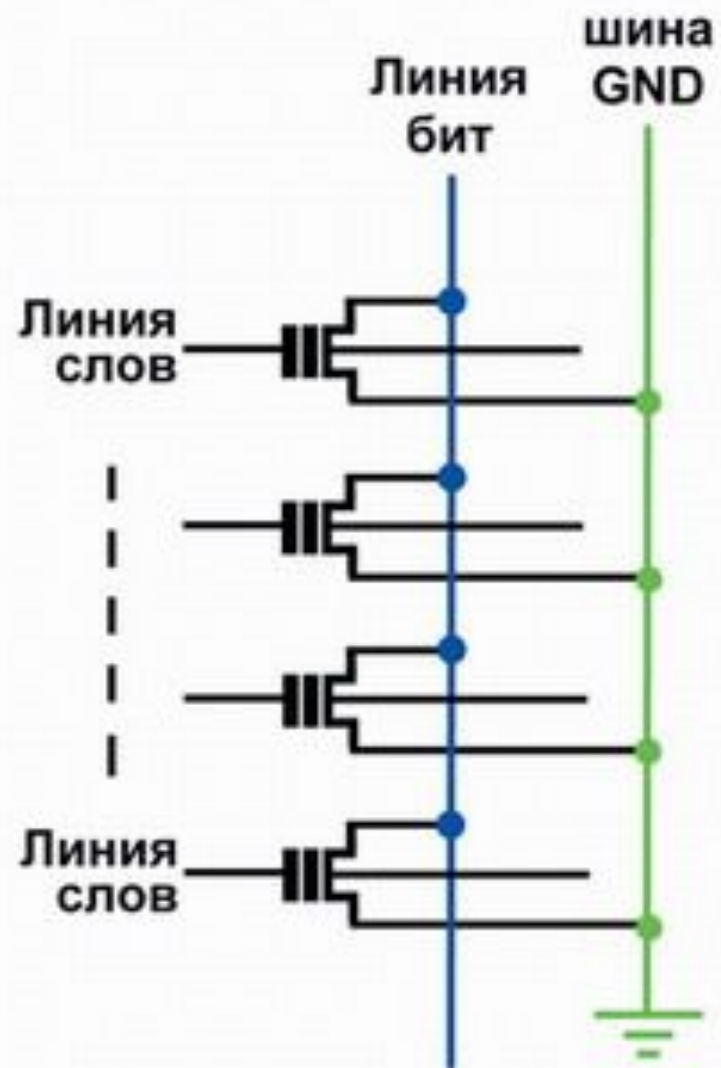
Микросхемы памяти бывают разные, они различаются методом соединения ячеек в массив и алгоритмами чтения-записи информации.

## Конструкции NOR

Конструкция NOR использует классическую двумерную матрицу проводников, в которой на пересечении строк и столбцов установлено по одной ячейке. При этом проводник строк подключался к стоку транзистора, а столбцов — ко второму затвору. Источник подключался к общей для всех подложке. В такой конструкции было легко считать состояние конкретного транзистора, подав положительное напряжение на один столбец и одну строку.



# NOR



NOR



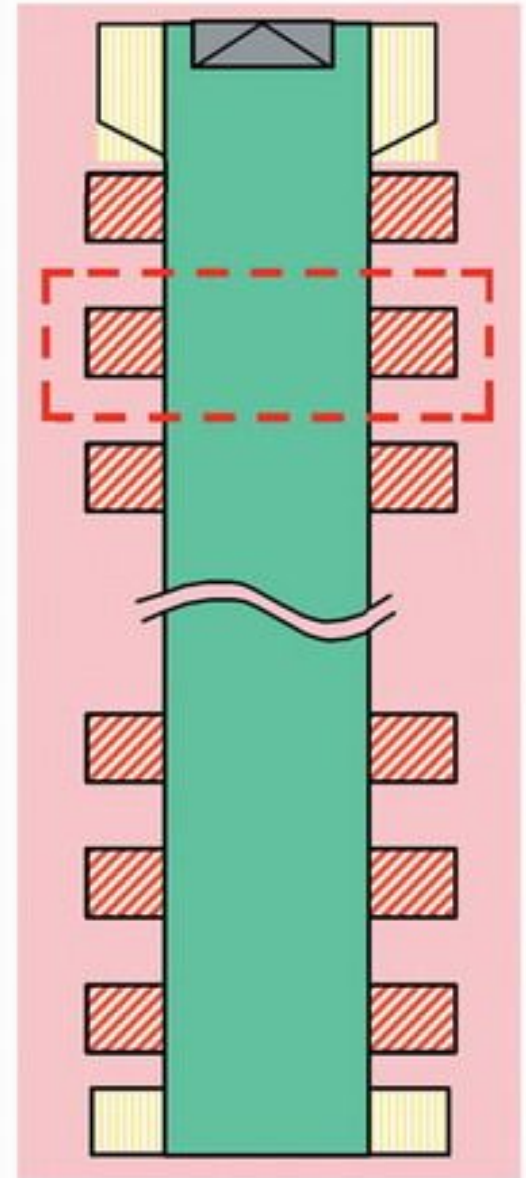
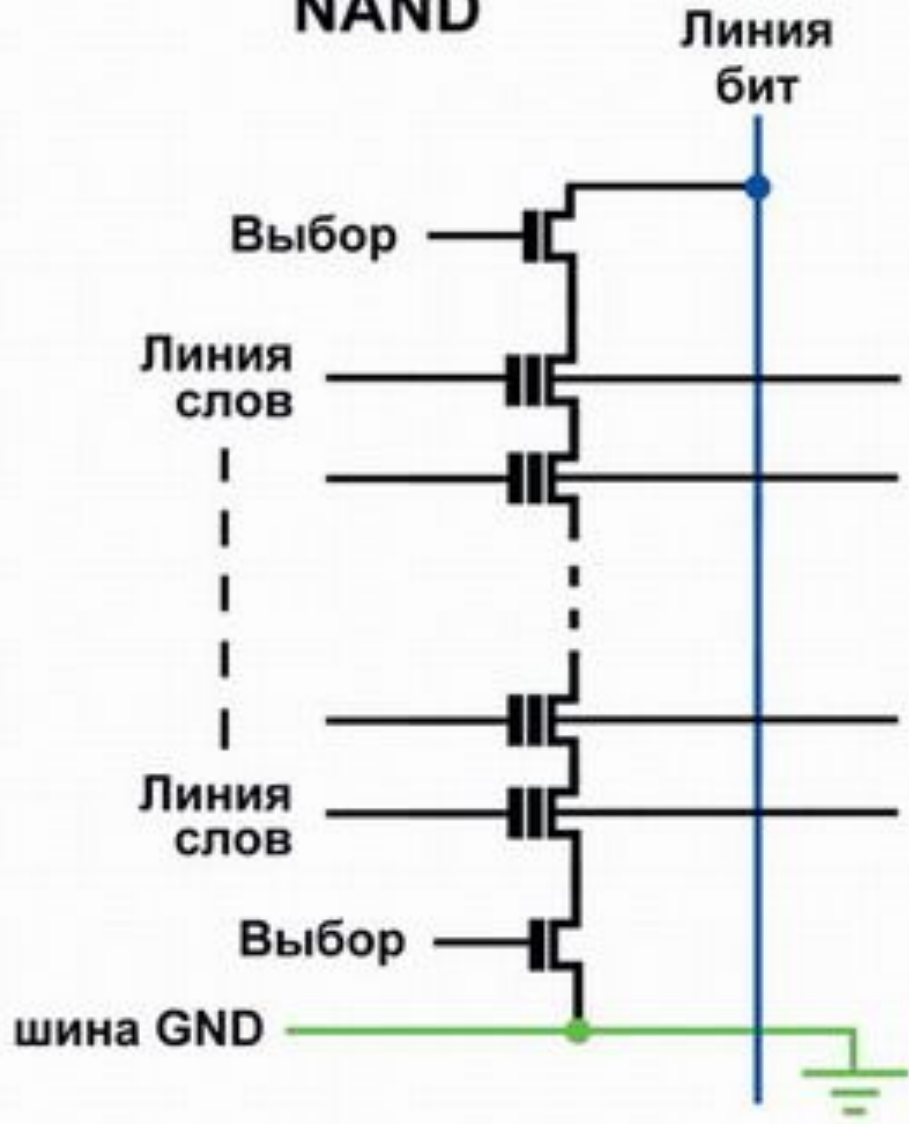
# Конструкция NAND

Конструкция NAND — трёхмерный массив. В основе та же самая матрица, что и в NOR, но вместо одного транзистора в каждом пересечении устанавливается столбец из последовательно включенных ячеек. В такой конструкции получается много затворных цепей в одном пересечении. Плотность компоновки можно резко увеличить (ведь к одной ячейке в столбце подходит только один проводник затвора), однако алгоритм доступа к ячейкам для чтения и записи заметно усложняется

**Во всех современных SSD используется конструкция NAND**



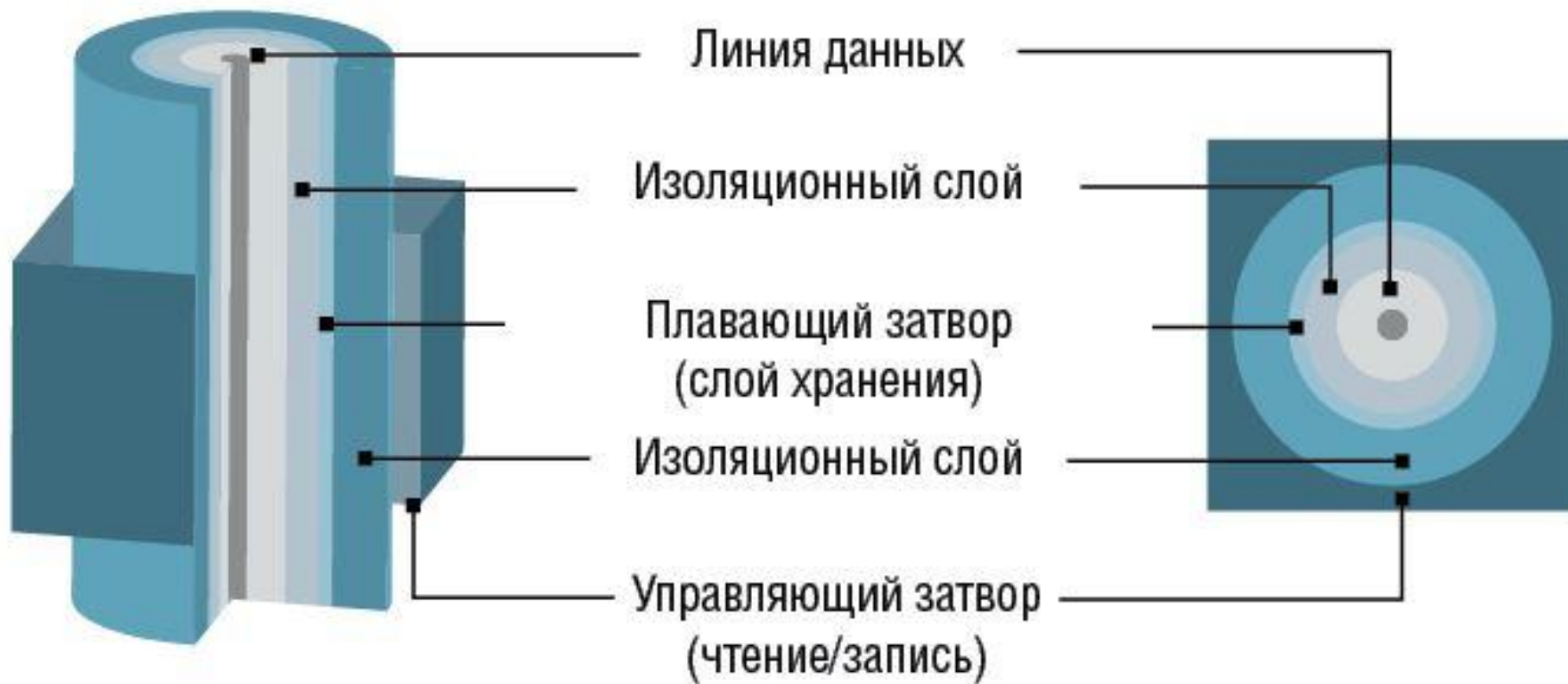
# NAND



NAND

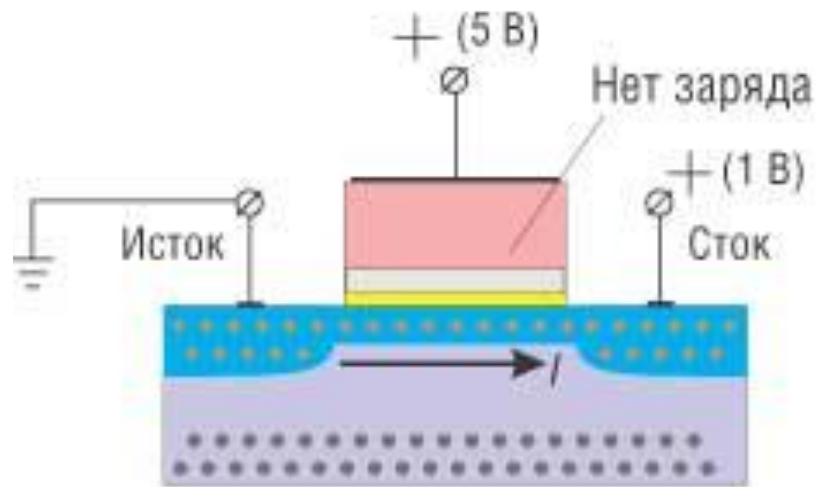


На физическом уровне flash-память состоит из так «ячеек» (cells) – по одному **MOSFET**-транзистору с плавающим затвором на ячейку. MOSFET расшифровывается как Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, что означает «**МДП-полевой транзистор**» («МДП» в названии этого типа транзистора указывает на его структуру: металл-диэлектрик-проводник).

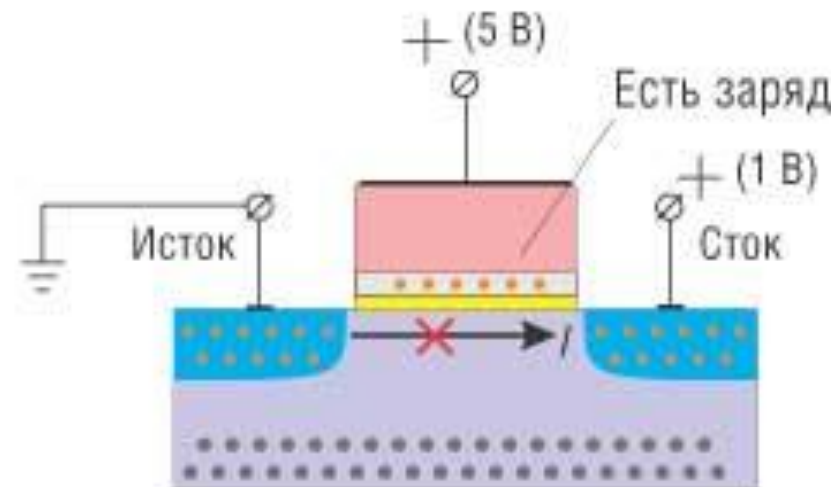


Считывание данных из ячеек NAND-flash происходит путем применения к ним электрического сигнала слабого напряжения – в пределах 6V. Транзистор может находиться в двух состояниях: открытом, когда он пропускает электрический ток, и закрытом, когда этого уровня напряжения недостаточно для пропуска.

Напряжение, «переключающее» транзистор в режим проводимости, называют **пороговым**.



Транзистор открыт.  
Соответствует логическому нулю



Транзистор закрыт.  
Соответствует логической единице





Физически, все три типа технологий NAND памяти состоят из одинаковых транзисторов, единственным отличием является то, что они хранят в себе различное количество зарядов.

Характеристика NAND	SLC	MLC	TLC
Битов в ячейке	1	2	3
Циклов перезаписи	100,000	3,000	1,000
Время чтения	25us	50us	~75us
Время программирования	200-300us	600-900us	~900-1350us
Время стирания	1.5-2ms	3ms	~4.5ms



SLC хранит только 1 бит данных(0, 1): это означает, что в процессе считывания ячейки проверяется ее реакция – наличие/отсутствие проводимости между истоком и стоком транзистора – лишь для одного референсного значения напряжения.



Достоинства:

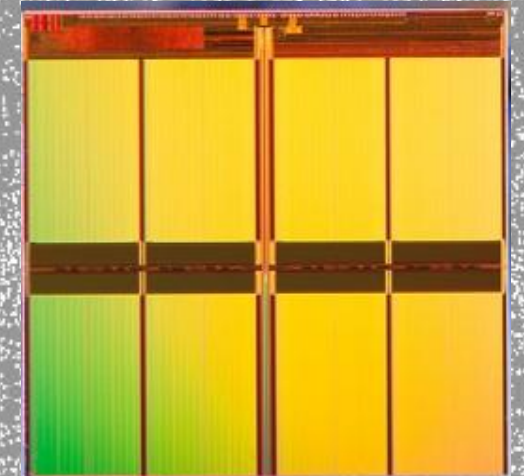
- 1) Долговечность
- 2) Высокая скорость
- 3) Надежность
- 4) Большое количество перезаписи
- 5) Простота обработки данных контроллером

Недостатки:

- 1) Высокая стоимость

# SLC

## Single-Level Cell



**MLC** - многоуровневые ячейки памяти с 4 уровнями заряда (2 бита) на каждую ячейку. 2-битная MLC-ячейка способна «хранить» значения **00, 01, 10, 11**



**MLC**-память на сегодняшний день является оптимальным вариантом, в котором удачно сочетаются достоинства SLS и TLC моделей.

Достоинства:

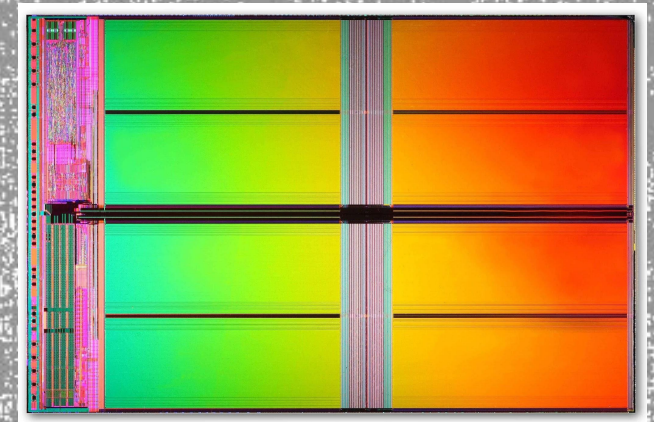
- 1) Хороший ресурс ( 3-5 лет),
- 2) Отличная скорость чтения/записи
- 3) Адекватная цена

Недостатки:

- 1) Тяжелее отследить ошибки
- 2) Обработка данных контроллером становится сложнее
- 3) Высокая цена

# MLC

## Multi Level Cell



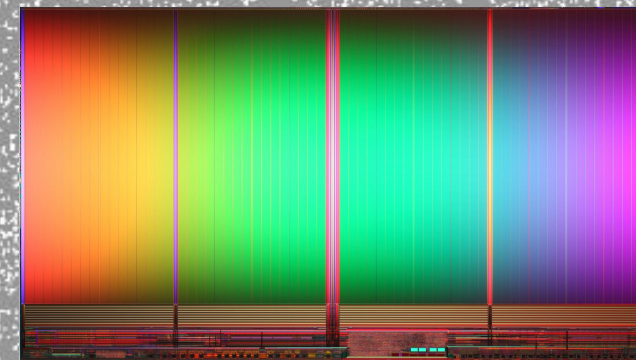
# TLC

## Triple Level Cell

**TLC-память** – самая современная, имеет 8 уровней, а, следовательно, она допускает хранение 3 бит на одну ячейку (000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111). Для того чтобы иметь возможность записывать в одну ячейку 3 бита, необходимо различать уже 8 пороговых напряжений.



**TLC** – незаконченная разработка на рынке памяти для твердотельных накопителей, которая в основном используется во флэшках.



Достоинства:

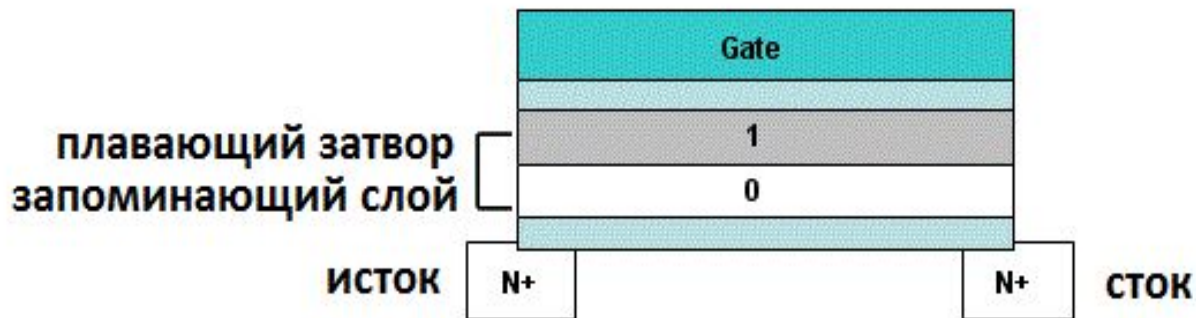
- 1) Дешевизна
- 2) Объем

Недостатки:

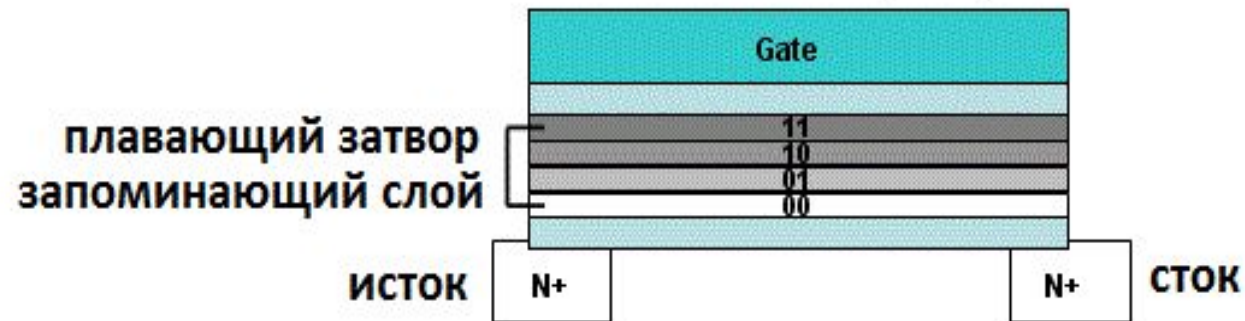
- 1) Крайне низкая долговечность ячеек
- 2) Низкая скорость
- 3) Тяжелее отследить ошибки
- 4) Обработка данных контроллером становится сложнее
- 5) Малое количество циклов перезаписи



Single Level Cell (SLC) 1 bit



Multilevel Level Cell (MLC) 2 bit



### SLC

#### Достоинства:

- 1) Долговечность
- 2) Высокая скорость
- 3) Надежность
- 4) Большое количество циклов перезаписи
- 5) Простота обработки данных контроллером

#### Недостатки:

- 1) Высокая стоимость

### MLC

#### Достоинства:

- 1) Хороший ресурс
- 2) Отличная скорость чтения/записи
- 3) Адекватная цена

#### Недостатки:

- 1) Тяжелее отследить ошибки
- 2) Обработка данных контроллером становится сложнее

### TLC

#### Достоинства:

- 1) Дешевизна

#### Недостатки

- 1) Крайне низкая долговечность ячеек
- 2) Низкая скорость
- 3) Тяжелее отследить ошибки
- 4) Обработка данных контроллером становится сложнее
- 5) Малое количество циклов перезаписи

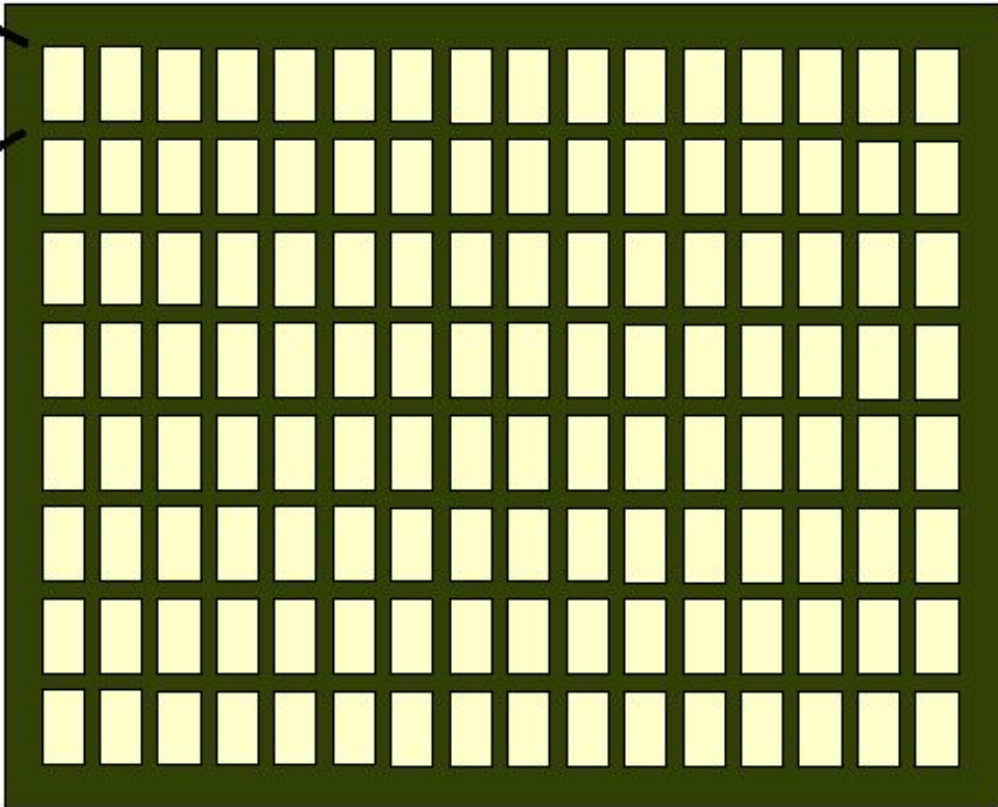
**MLC-память является оптимальным вариантом при выборе SSD**



Несмотря на тот факт, что флэш-память позволяет получить доступ для чтения, записи и стирания отдельно взятой ячейки, для более эффективного использования элементарных ячеек памяти они были объединены в массивы с четырехуровневой структурой.

1 Block = 128 pages = 512KB

4KB  
Page



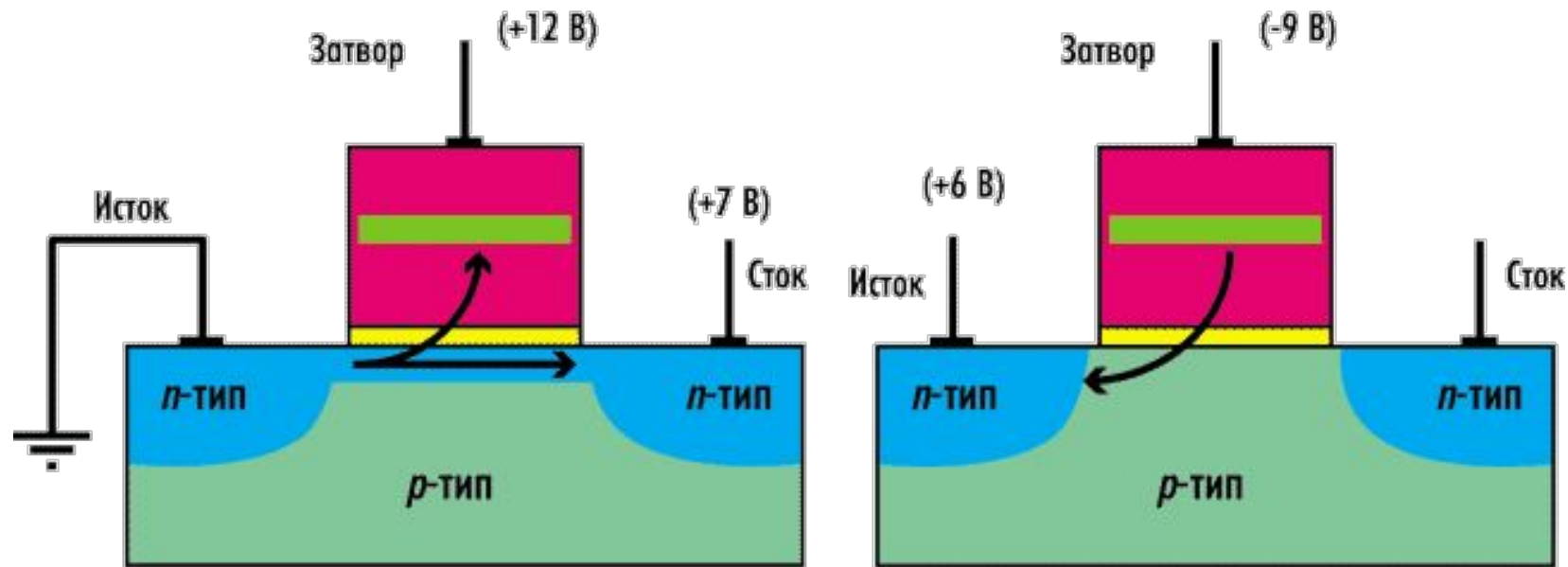
Ячейки объединяются в страницы по **4 кБайта**, затем в блоки по **128 страниц**, а далее в массив по **1024 блока**, который в свою очередь переходит в массив размером **512 Мбайт**, управляющийся отдельным контроллером.

**В связи с этим появляются некоторые ограничения:**

Стирать информацию можно только блоками по **512 кБайт**, а запись возможна только по **4 кБайт**.



Запись и стирание информации происходят за счет изменения заряда между затвором и истоком, пока напряженность электрического поля в диэлектрике между каналом транзистора и изолированной областью не окажется достаточной для возникновения туннельного эффекта. Таким образом электроны переходят через слой диэлектрика на плавающий затвор, обеспечив его зарядом, а, значит, и наполнение элементарной ячейки битом информации. Чтобы очистить ячейку подается высокое отрицательное напряжение. С этим связано и ограничение на количество циклов перезаписи.



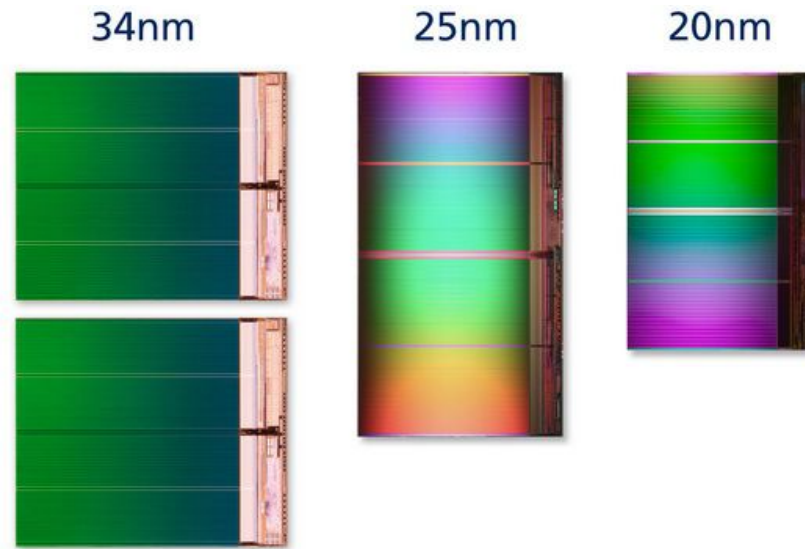
Перенос заряда в область плавающего затвора происходит за счет квантового туннелирования электронов через слой диэлектрика

Удаление заряда с плавающего затвора происходит методом туннелирования Фаулера — Нордхейма



## Почему количество циклов перезаписи NAND ограничено:

- для сокращения расходов размер кристалла уменьшают по осям X и Y, а также увеличивают его плотность



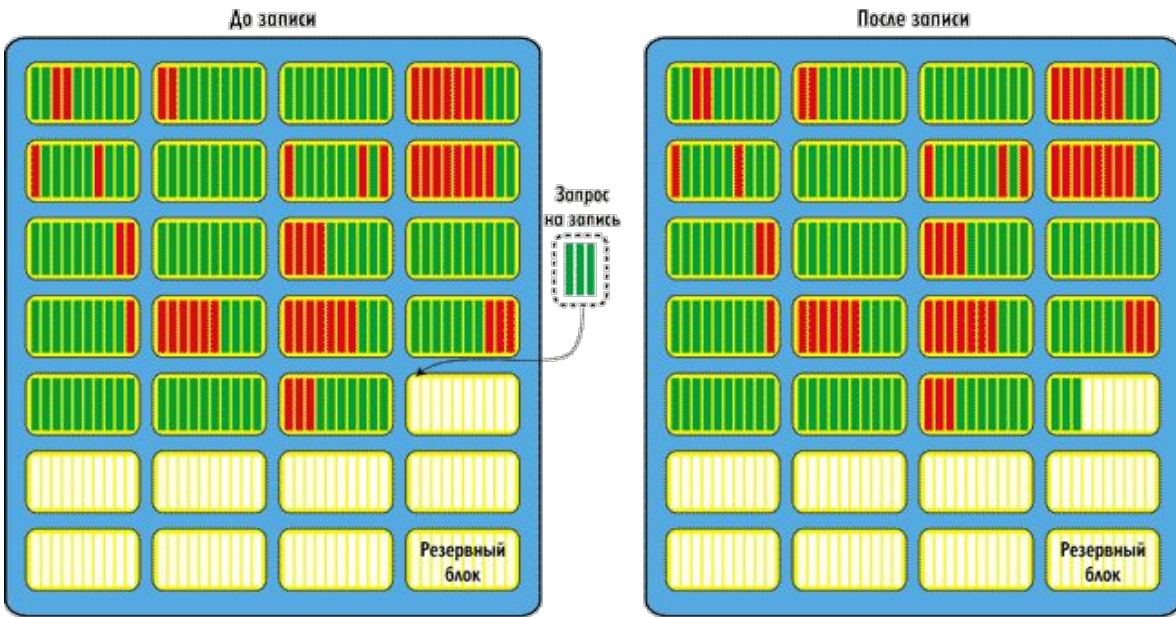
- с уменьшением размера кристалла становится тоньше оксид, что негативно сказывается на сроке службы ячеек
- истончение оксида вынуждает контроллер подавать более высокое напряжение, чтобы запрограммировать ячейку
- программирование ячеек памяти достигается подачей напряжения, что постепенно изнашивает их



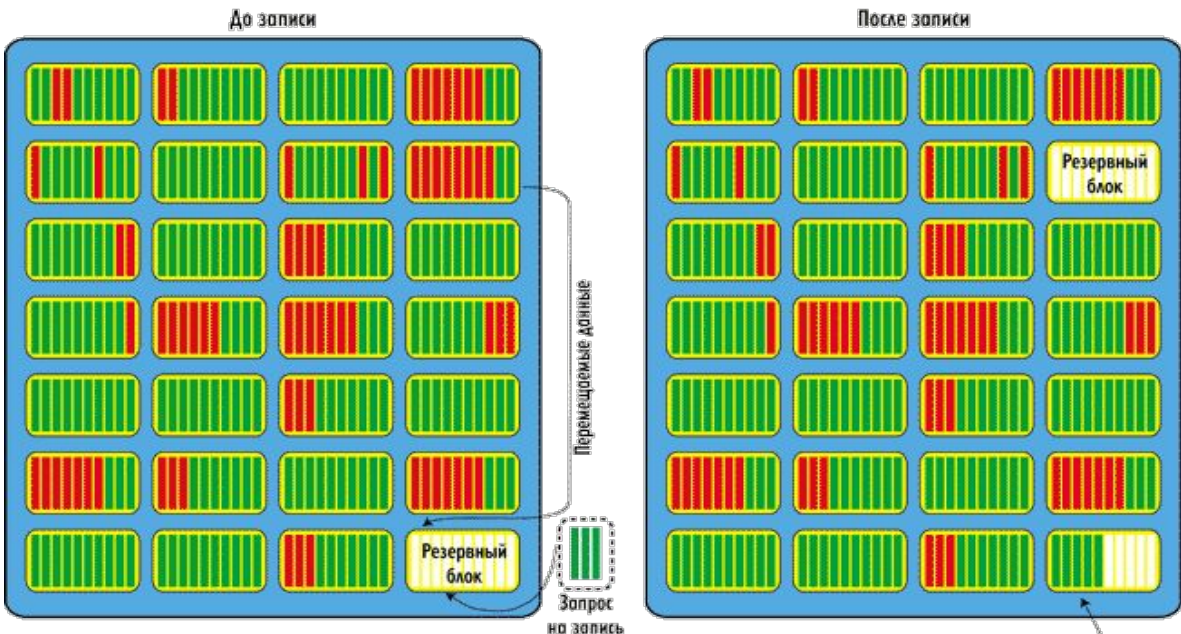


## Технология записи информации в ячейку

Так же далеко не вся емкость диска доступна для записи информации, часть (10-20%) остается под резервные блоки. Они используются для перемещения и освобождения памяти, и так же отдают свой ресурс под испорченные ячейки.



Запись на новый (частично заполненный) диск



Запись на заполненный диск

Перемещенные + записанные данные

Если производится перезапись данных, они последовательно записываются в следующие по порядку свободные страницы памяти, а те страницы, в которые эти данные были записаны ранее, помечаются как содержащие устаревшие данные (помечаются к удалению).

■ Данные, помеченные к удалению   ■ Актуальные данные   ■ Пустые страницы памяти



Естественно, при таком последовательном алгоритме записи неизбежна ситуация, когда весь диск будет заполнен, то есть на нем не останется блоков со свободными страницами, а будут лишь блоки, содержащие заполненные страницы с актуальными данными, и страницы, помеченные к удалению.

В SSD дисках всеми этими операциями занимается контроллер, который при изменениях информации выполняет следующую последовательность действий:

- считывает блок, содержащий модифицируемый блок во внутренний буфер/кеш;
- модифицирует необходимые байты;
- выполняет стирание блока в микросхеме флэш-памяти;
- вычисляет новое местоположение блока в соответствии с требованиями алгоритма перемешивания;
- записывает блок на новое место.



# Контроллеры



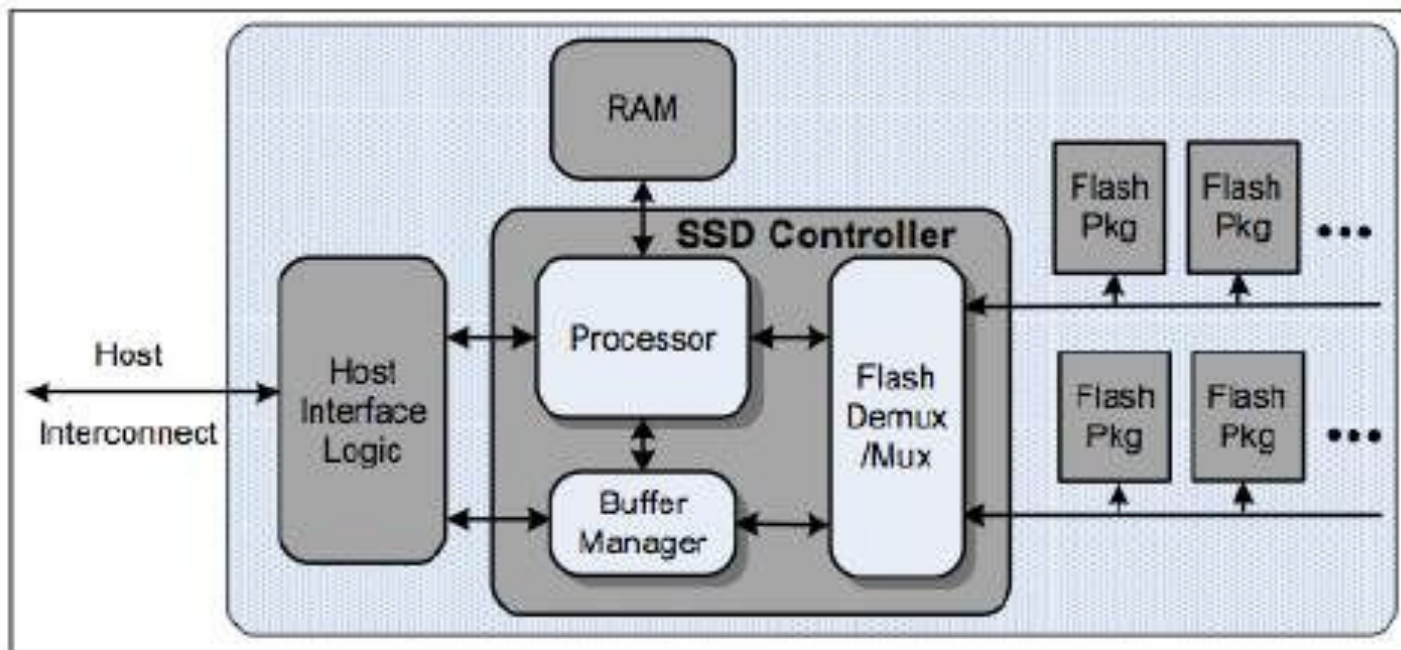
Контроллер (процессор) SSD — это одна из самых важных частей устройства. Именно от контроллера зависит, насколько эффективен будет SSD, будет ли он поддерживать технологии очистки и как у него обстоят дела с надежностью поскольку он занят тем, что постоянно следит за всеми ячейками и их степенью износа, распределяя нагрузку.

Главной задачей является обеспечение операций чтения/записи, и управление структурой размещения данных. Основываясь на матрице размещения блоков, в какие ячейки уже проводилась запись, а в какие еще нет, контроллер должен оптимизировать скорость записи и обеспечить максимально длительный срок службы **SSD диска**. Поэтому, правильно настроенные и оптимизированные алгоритмы контроллера могут существенно повысить производительность и долговечность работы SSD диска.



В контроллер входят следующие основные элементы:

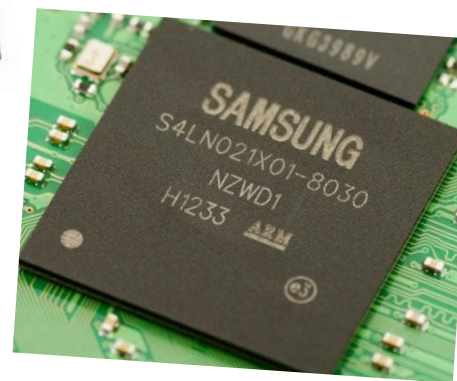
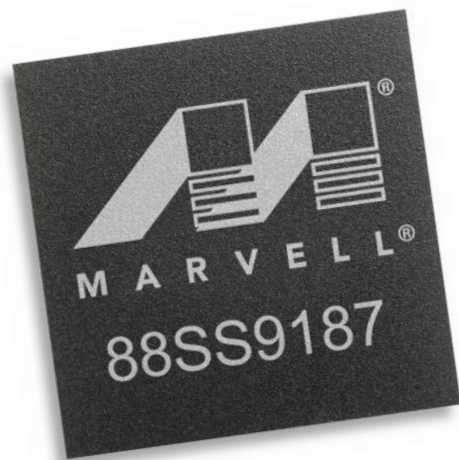
- **Processor** – как правило 16 или 32 разрядный микроконтроллер. Выполняет инструкции микропрограммы, отвечает за перемешивание и выравнивание данных на Flash, диагностику SMART, кеширование, безопасность.
- **Error Correction (ECC)** – блок контроля и коррекции ошибок ECC.
- **Flash Controller** – включает адресацию, шину данных и контроль управления микросхемами Flash памяти.
- **DRAM Controller** - адресация, шина данных и управление DDR/DDR2/SDRAM кэш памятью.
- **I/O interface** – отвечает за интерфейс передачи данных на внешние интерфейсы SATA, USB или SAS.
- **Controller Memory** – состоит из ROM памяти и буфера. Память используется процессором для выполнения микропрограммы и как буфер для временного хранения данных. При отсутствии внешней микросхемы RAM памяти выступает в роли единственного буфера данных **SSD накопителя**.



Без хорошего контроллера, способного быстро обрабатывать полученную информацию, любой твердотельный накопитель будет не более чем крупной и дорогой «флешкой», а потому пора познакомиться с основными игроками на рынке логики для SSD.

## Основные производители контроллеров

- Samsung
- Marvell
- Intel
- JMicron
- SandForce (LSI)
- Indilinx (OCZ)
- LAMD (Hynix)
- Toshiba
- SandDisk
- Phison



# SAMSUNG

Контроллеры

На рынке SSD эта компания является одним из главных игроков, так как обладает своим производством NAND, DRAM и контроллеров. Это позволяет ей не только снабжать другие компании компонентами, но и выпускать сбалансированные SSD под своим брендом. Контроллер с достаточно высокой скоростью работы и немалым объемом кэш-памяти, поддерживает аппаратное шифрование AES-256.

На сегодняшний день накопители, построенные на контроллерах MDX и MEX, обеспечивают практически самое высокое быстродействие.



# Marvell

Эта компания не выпускает своих SSD, зато ее контроллеры установлены во многих накопителях.

Контроллеры Marvell отличаются конкурентоспособной ценой, но требуют доводки прошивки для достижения максимальной совместимости, производительности и стабильности. Marvell дают высокую производительность с операциями над произвольными блоками данных.

Одни из самых быстрых в мире SSD дисков - Plextor M5 Pro, Crucial M500, Crucial M550, используют контроллеры Marvell 88SS9187, 88SS9189.

За свою большую универсальность и относительную дешевизну многие пользователи сделали выбор в пользу этой компании производителя чипов.





# Intel

В некоторых моделях своих SSD дисков Intel использует собственный контроллер. Это серверные модели S3500, S3700, модель Intel 730 ориентированная на бизнес сегмент рынка. Так же родной контроллер Intel CH29AE41AB0 стоит на новеньком SSD накопителе Intel 750.

Контроллеры Intel ориентированы на высокую производительность в условиях большого количества параллельных запросов (модель серверной нагрузки). Поэтому в основном не встречается на потребительских моделях, так как стоимость этих контроллеров достаточно высока. Еще одним минусом является то, что для поддержания высокой производительности SSD на контроллере Intel CH29AE41AB0 необходимо четыре линии PCI Express 3.0.



# SandForce (LSI)

На SF построено множество накопителей от OEM-производителей, не имеющих своей интеллектуальной собственности в сегменте контроллеров. Сейчас эта компания принадлежит LSI.

Это единственный контроллер, которому не требуется модуль DRAM, поскольку в нем применяется другой аппаратный подход к сопоставлению страниц. В основе его работы лежит принцип компрессии данных, которая выполняется непосредственно перед записью на диск.

**К недостаткам таких контроллеров относятся следующие проблемы:**

- после заполнения диска и его очистки скорость записи не возвращается к исходным значениям (когда диски был пустой).
- так же снижается скорость работы при сильно заполненном диске.

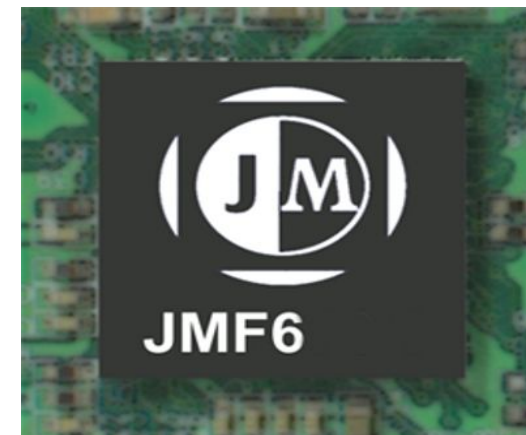
Но в то же время контроллеры SandForce дают высокую скорость записи на легко сжимаемых данных, вроде текстов, документов, а так же являются самыми распространенными, поскольку доминируют в бюджетных SSD.



# JMicron

JMicron – из первого поколения, имеет низкую производительность и небольшой объем кэш-памяти, однако по цене самый доступный из всех. Сегодня встретить такой тип контроллера маловероятно, но тем не менее в SSD ADATA и Toshiba еще можно встретить контроллер JMF670H а так же JMF810 и JMF811.

По остальным показателям контроллеры JMicron не представляют ничего особенного, имеются проблемы со скоростями и временем доступа.



# Indilinx

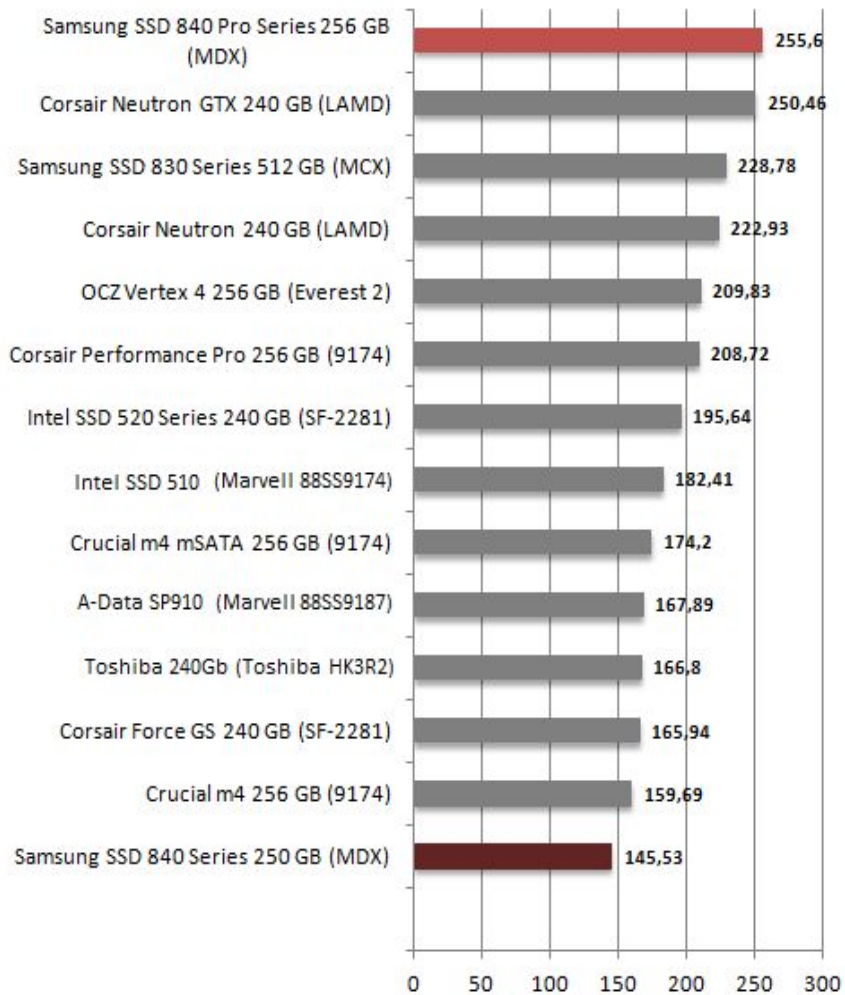
Сейчас эта компания принадлежит OCZ. Indilinx сделала себе имя на платформе Everest, которую она разрабатывала совместно с Marvell, лицензируя архитектуру контроллера. Первые контроллеры Everest отличались от Marvell прошивкой, а **Everest 1** был разогнанной версией Marvell 88SS9174. Контроллер работает в связке с двумя модулями DDR3L-1600 DRAM, однако не поддерживает аппаратное шифрование. Встречается исключительно в SSD OCZ и характеризуется отличной производительностью.



# Небольшое сравнение SSD

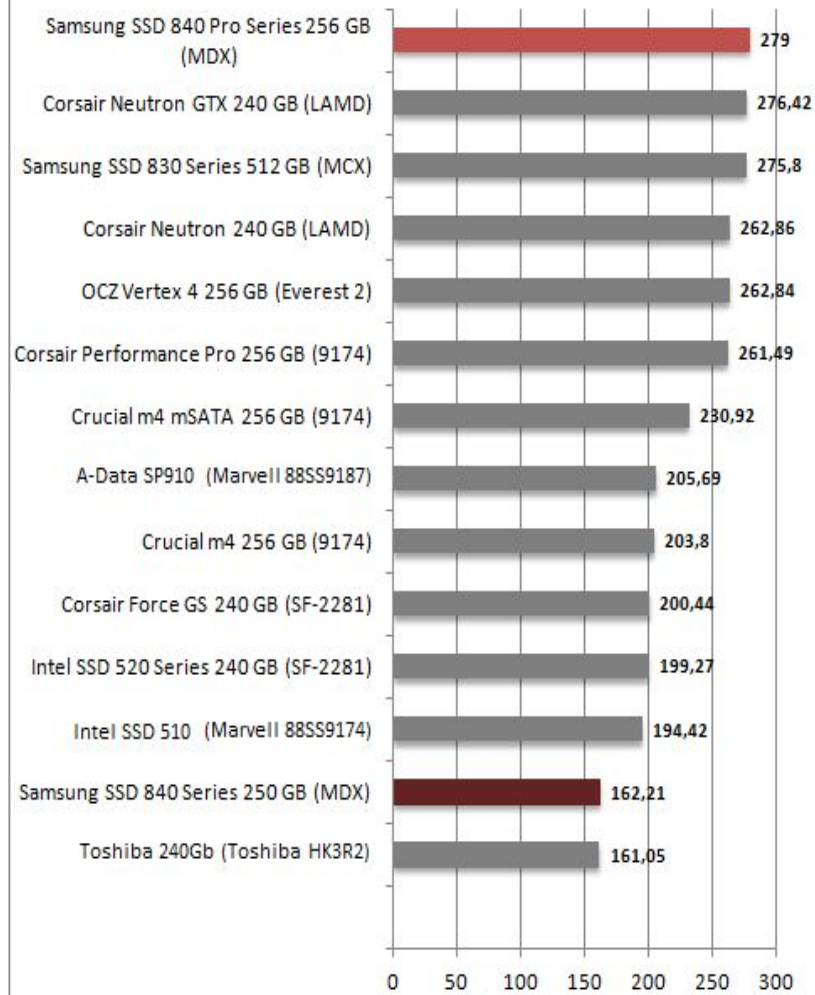
## AS SSD: Kopierbenchmark - Spiel

Werte in MB/s, mehr ist besser



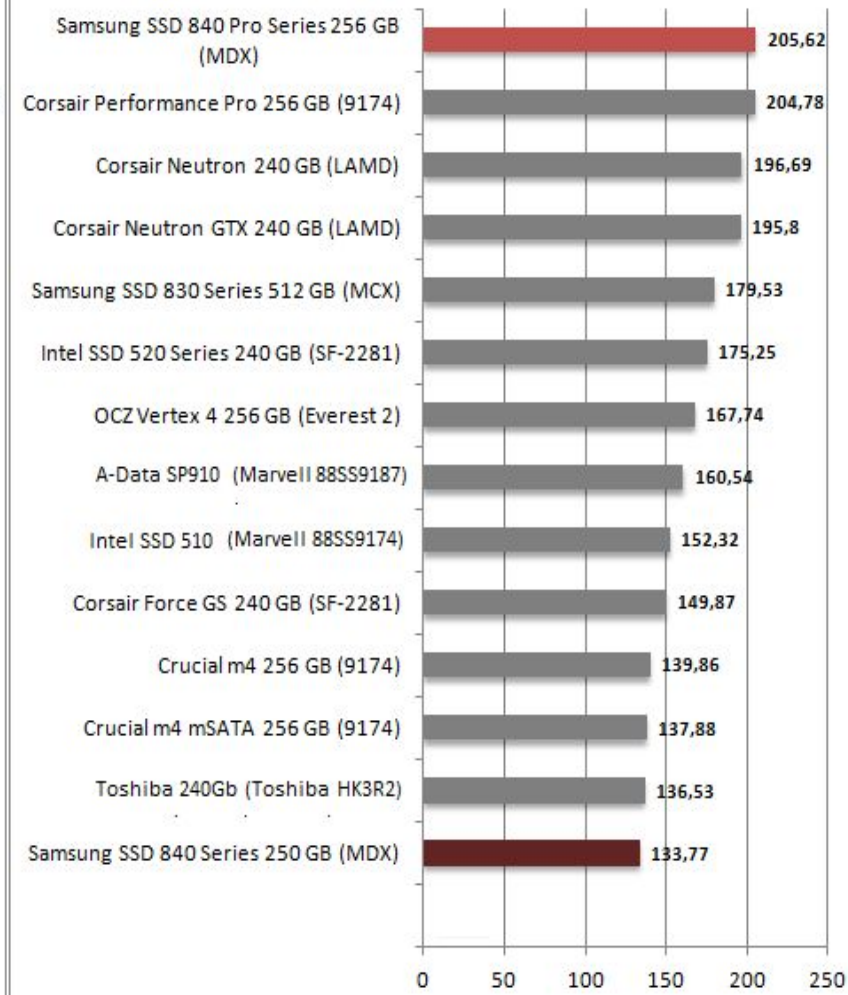
## AS SSD: Kopierbenchmark - ISO

Werte in MB/s, mehr ist besser

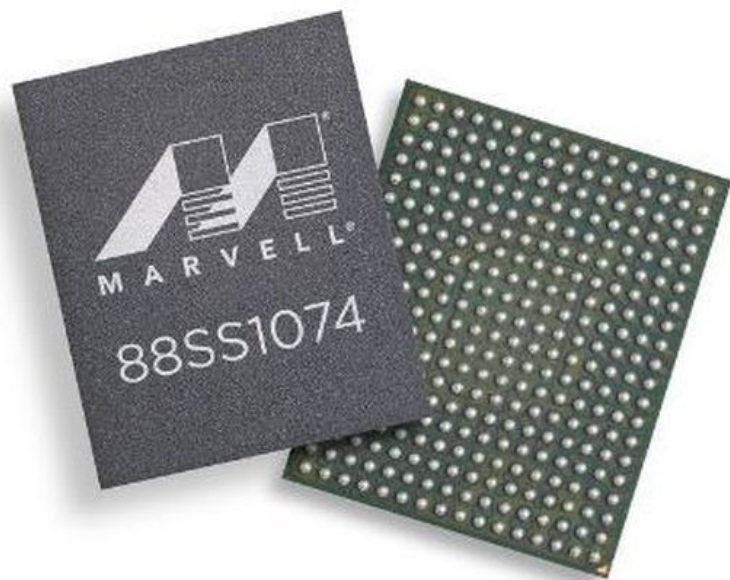


## AS SSD: Kopierbenchmark - Programm

Werte in MB/s, mehr ist besser



В этой теме остается добавить что контроллер и его прошивка - самый большой источник проблем. По причине того, что контроллер физически расположен между интерфейсом и микросхемами памяти, вероятность его повреждения в результате сбоя или проблем с питанием очень велика. При этом сами данные, в большинстве случаев сохраняются. Помимо физических повреждений, при которых доступ к данным пользователя невозможен, существуют логические повреждения, при которых также нарушается доступ к содержимому микросхем памяти. Любая, даже незначительная ошибка, баги в прошивке, может привести к полной потере данных



**ERROR**



# Форм-факторы



**Форм-фактор** (от англ. *form factor*) — стандарт, задающий габаритные размеры технического изделия, а также описывающий дополнительные совокупности его технических параметров, например форму, типы дополнительных элементов размещаемых в/на устройстве, их положение и ориентацию.



Если настольные жесткие диски многие годы существуют в 3,5-дюймовом форм-факторе, SSD с самого начала выпускались в 2,5-дюймовом формате. Он отлично подходил для небольших компонентов SSD. Однако ноутбуки становились все тоньше, и 2,5-дюймовые SSD уже перестали удовлетворять критерию малого размера. Поэтому многие производители обратили внимание на другие форм-факторы с меньшими габаритами.



*Классические 2,5-дюймовые SSD SATA*

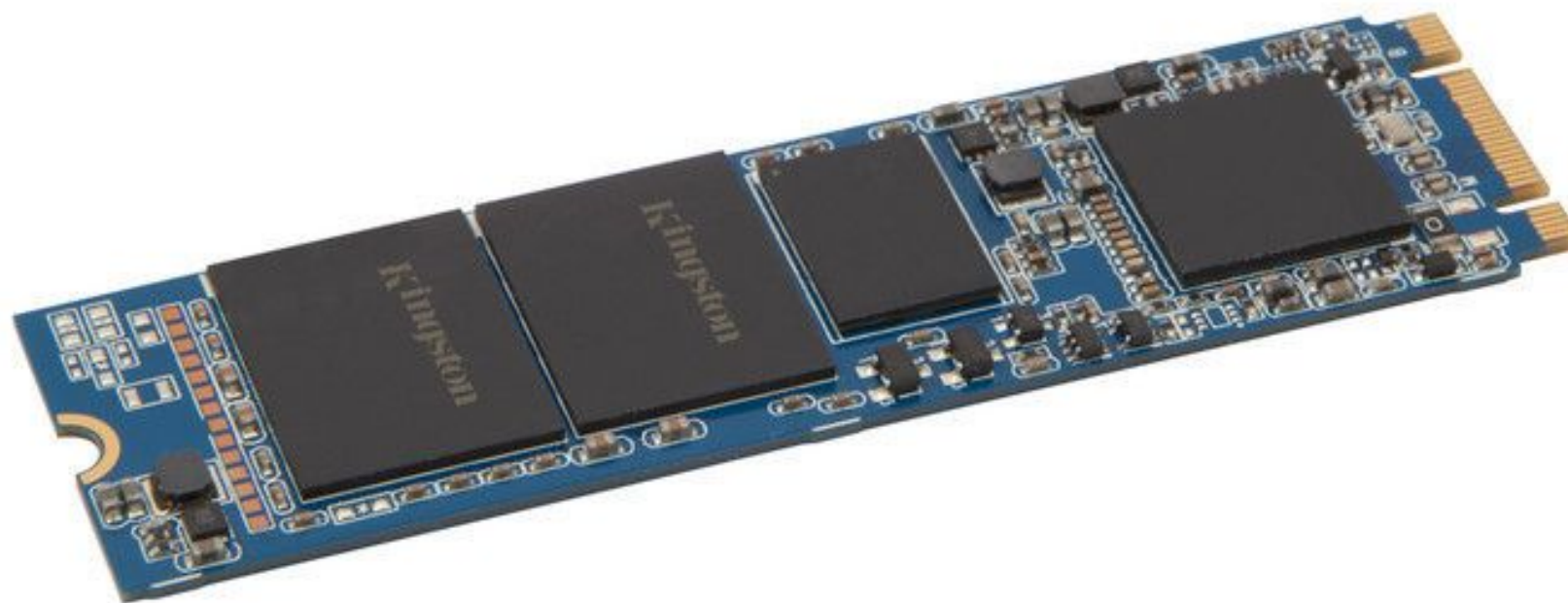




Был разработан стандарт mSATA, однако он появился слишком поздно. Соответствующий интерфейс сегодня встречается довольно редко, в немалой степени по причине того, что mSATA (сокращение от mini-SATA) по-прежнему работает со сравнительно низкой скоростью SATA. Если сокет предназначен для установки накопителей mSATA, вы сможете использовать только их. Стандарт mSATA сегодня можно считать устаревшим.



Стандарт M.2 (который изначально назывался Next Generation Form Factor (NGFF)) обеспечивает производителям большую гибкость по габаритам SSD, поскольку накопители значительно более компактны, допускаются восемь вариантов длины, от 16 до 110 мм. Также M.2 поддерживает разные варианты интерфейсов. Форм-фактор M.2 подразумевает наличие двух типов ключей: «B» (Socket 2) и «M» (Socket 3).



Сегодня все больше используется интерфейс PCI Express, который и будет доминировать в будущем, поскольку он работает значительно быстрее.



Intel SSD 750



Форм-фактор	Подключение	Макс скорость	Примечание
2.5 дюйма	SATA 6 Gb/s	600 Mb/s	Стандартный форм-фактор SSD для настольных ПК, а также многих ноутбуков. Возможна разная высота корпуса. Порты SATA есть на любой материнской плате, поэтому совместимость очень широкая.
mSATA	SATA 6 Gb/s	600 Mb/s	Форм-фактор предназначен, главным образом, для ноутбуков. Распространился только один вариант размера. Использует слот собственного формата.
M.2	PCIe 3.0 x4	3800 Mb/s	Форм-фактор для ноутбуков и настольных систем. Доступны разные варианты размеров. Многие новые ноутбуки и материнские платы имеют слот M.2.
SATA Express	PCIe 3.0 x2	1969 Mb/s	Преемник SATA 6 Гбит/с. Использует две линии PCIe, а не четыре, как в M.2. На рынке почти нет совместимых накопителей, поскольку производители предпочитают M.2.

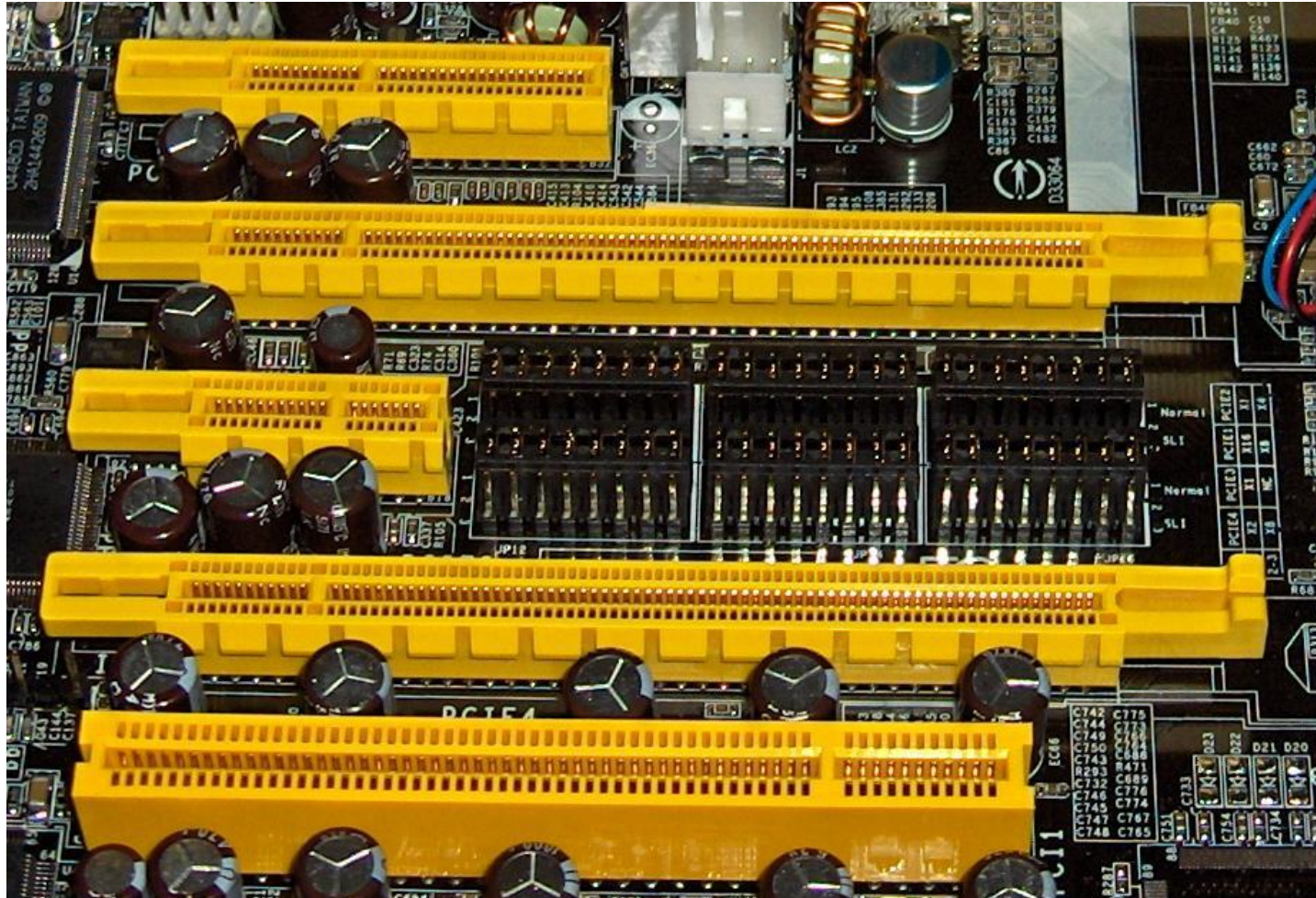
# SSD Ha PCI Express



# Что такое PCI Express

**PCI Express, (или PCIe, или PCI-E) –** это компьютерная шина расширения, предназначена для подключения периферийных устройств к системной плате персонального компьютера. PCI Express реализовывает программную модель интерфейса PCI и протокол последовательной передачи данных.





Различные слоты  
на материнской плате  
компьютера, сверху  
вниз:

- PCI Express × 4
- PCI Express × 16
- PCI Express × 1
- PCI Express × 16
- Наследие PCI (32-  
разрядная версия, 5 В)



- Для подключения устройства PCI Express используется двунаправленное последовательное соединение типа точка-точка, называемое линией.
- Соединение между двумя устройствами PCI Express состоит из одной (x1) или нескольких (x2, x4, x8, x12, x16 и x32) двунаправленных последовательных линий. Каждое устройство должно поддерживать соединение, по крайней мере, с одной линией (x1).

**В зависимости от накопителя, используется интерфейс PCI-Express x2, x4 или x8.**





# Пропускная способность PCI Express

Интерфейс SSD	Максимальная теоретическая пропускная способность	Максимальная реальная пропускная способность (оценка)
PCIe 2.0 x2	8 Гбит/с (1 Гбайт/с)	800 Мбайт/с
PCIe 2.0 x4	16 Гбит/с (2 Гбайт/с)	1,6 Гбайт/с
PCIe 2.0 x8	32 Гбит/с (4 Гбайт/с)	3,2 Гбайт/с
PCIe 3.0 x4	32 Гбит/с (4 Гбайт/с)	3,2 Гбайт/с



## Достоинства:

- Высокая скорость передачи данных

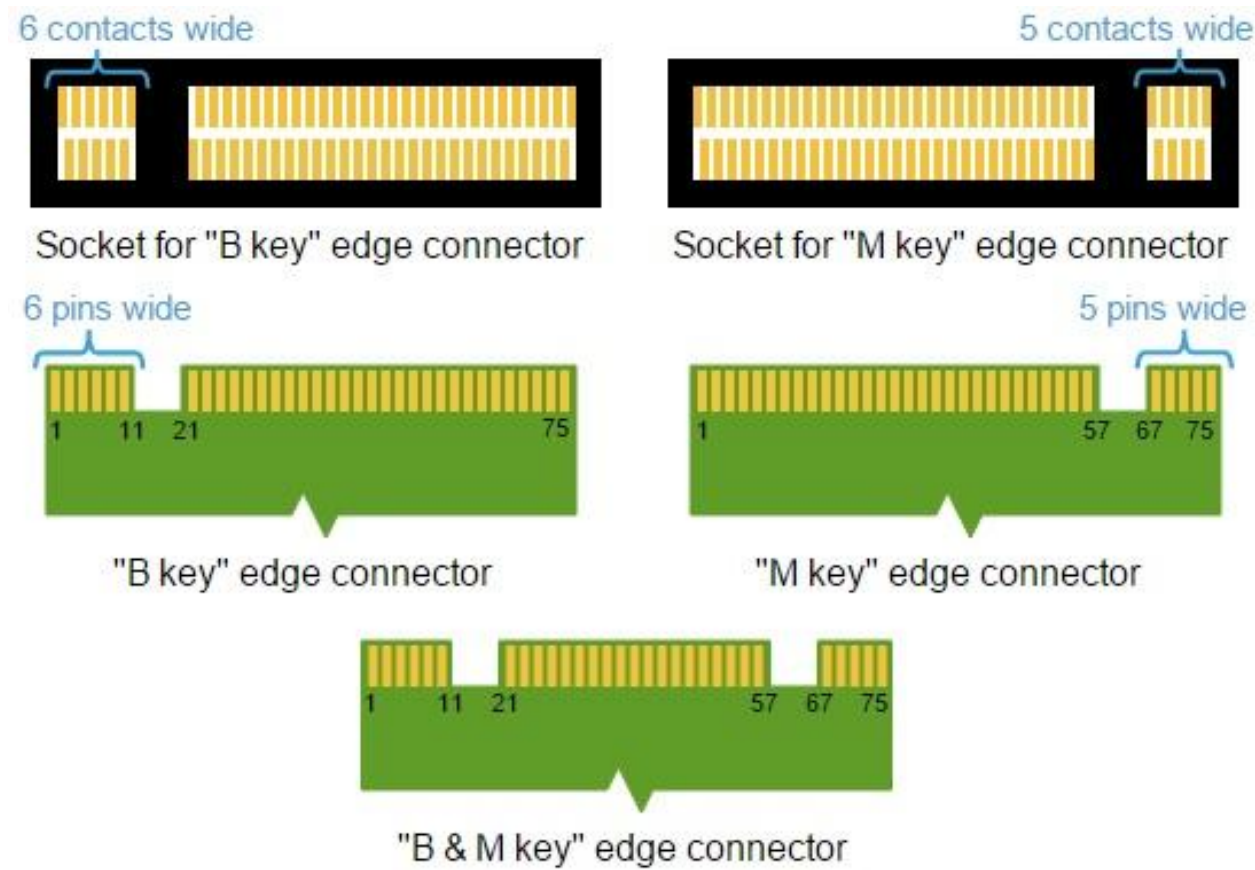
## Недостатки:

- Высокая цена на рынке
- Небольшой ассортимент брендов и моделей
- Для некоторых моделей характерно падение производительности со временем (неработающий или не настроенный TRIM(команда интерфейса ATA, позволяющая операционной системе уведомить твердотельный накопитель о том, какие блоки данных уже не содержатся в файловой системе и могут быть использованы накопителем для физического удаления))



Как оказалось, M.2 идеально подходит для накопителей с интерфейсом PCI Express.

Так конструкторы разделили слоты, к которым подводилось разное количество полос PCI Express. Коннектор M.2 B-типа имеет две линии. У накопителей для этого слота прорезь расположена на месте контактов 12-19 (с левой стороны). К порту M.2 M-типа подведено четыре линии PCI Express. У накопителей защитная прорезь находится в районе контактов 59-66 (с правой стороны).



# Что такое Intel Optane?

В первую очередь это новая технология 3D XPoint

Начнем с краткой информации по самой технологии 3D XPoint (читается как «три-ди кросс-поинт»).

- Во-первых, хотя технология является совместной разработкой компаний Intel и Micron, реализация технологии в виде продуктов находится в отдельном ведении каждого из вендоров. Все далее сказанное, имеет отношение только к продуктам Intel.
- Во-вторых, 3D XPoint – это не NAND, это не NOR, это не DRAM, а совершенно другой зверь.



# Это не NAND

В отличие от NAND, нет привязки операций записи к страницам и привязки операций стирания к блокам. С 3D XPoint обращаться к данным на физическом уровне мы можем на уровне отдельной ячейки. Кроме того, нам не нужно удалять данные перед операцией записи – мы можем перезаписывать данные, что позволяет избавиться от операций read-modify-write и сильно упростить сборку мусора. Это приводит к уменьшению задержек доступа (latency) и росту количества выполняемых операций ввода-вывода за секунду (IOPS); в дополнение к этому, операции записи выполняются почти так же быстро, как и операции чтения. Наконец, износостойкость (endurance) памяти 3D XPoint сильно выше по сравнению с NAND (такой эффект, как утечка электронов из ячеек, здесь не существует). Подводя итог, 3D XPoint быстрее и обладает большей износостойкостью по сравнению с NAND. Однако, было бы несправедливо не отметить недостаток 3D XPoint – это стоимость производства, которая на данный момент ощутимо выше по сравнению со стоимостью производства 3D NAND.



# Это не DRAM

В отличие от DRAM, 3D XPoint позволяет создавать устройства с большей плотностью хранения данных, является энергонезависимым типом памяти и, при этом, дешевле. Из недостатков в данном сравнении – 3D XPoint как технология реализации памяти несколько медленнее, чем DRAM (обратите внимание, сравниваем технологии, а не продукты на базе этих технологий).



# Intel Optane Memory

Итак, Intel Optane Memory. Первое, что стоит понять об этом продукте – несмотря на название, это не DRAM, а NVMe SSD в форм-факторе M.2 2280-S3-B-M.

Вид сверху – под наклейкой 1 чип 3D XPoint (это версия 16ГБ, на 32ГБ расположены 2 чипа 3D XPoint – площадки под второй чип видны):



Устройство соответствует спецификации NVMe Express 1.1. На данный момент на рынок выпущены емкости 16ГБ (используется один чип памяти 3D XPoint емкостью 16ГБ) и 32ГБ (используются два чипа памяти 3D XPoint емкостью 16ГБ каждый). Из интересных деталей дизайна:

- контроллер является внутренней разработкой Intel
- в дизайне не используется DRAM
- используются только 2 линии PCIe gen3, а не 4 линии, как многие могли бы ожидать
- заявленная износостойкость – 100ГБ записанных данных каждый день в течение 5 лет





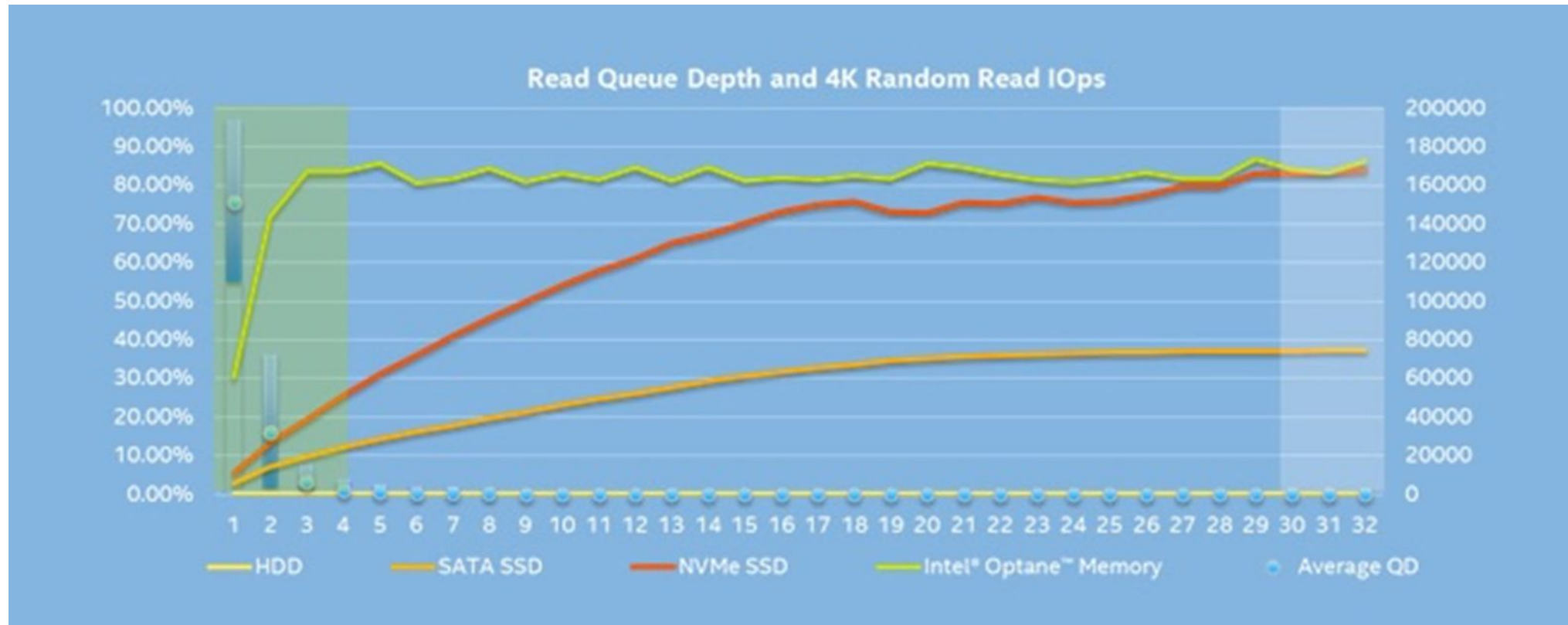
# Тест производительности

	32ГБ	16ГБ
Последовательное чтение	1350 МБ/с	900 МБ/с
Последовательная запись	290 МБ/с	145 МБ/с
Случайное чтение	240000 IOPS	190000 IOPS
Случайная запись	65000 IOPS	35000 IOPS
Задержки на чтение	7 $\mu$ s	8 $\mu$ s
Задержки на запись	18 $\mu$ s	30 $\mu$ s

(производительность версии 32ГБ выше из-за того, что используются 2 чипа памяти 3D XPoint против одного чипа у версии 16ГБ)



Казалось бы, производительность в плане пропускной способности и IOPS не впечатляет – однако, собака зарыта совсем не тут. Вся штука в том, что эти данные производительности замерялись при глубине очереди (queue depth) равной 4 – в отличие от прочих SSD, которые обычно замеряются с глубиной очереди 32 и выше. Именно на неглубоких очередях более всего заметно превосходство Optane. Для наглядности, вот график производительности разных типов устройств на разной глубине очереди\*:



# Смысл Intel Optane

Однако, Intel не позиционирует использование Optane Memory в качестве обычного SSD по понятным причинам – емкости устройств не хватит для пользовательских задач (за исключением некоторых интересных вариантов, как, например, небольшой, но быстрый и надежный загрузочный накопитель для Linux, или scratch disk для Adobe Photoshop, или небольшой, но быстрый кэш вместе с Intel Cache Acceleration Software, или интересное решение, описанное [здесь](#)). Вся сила маркетингового аппарата Intel направлена на продвижение новой технологии ускорения (грубо говоря – кэширования, но это не совсем точное определение) медленного SATA-накопителя (будь то жесткий диск, твердотельный накопитель или даже некоторые гибридные модели) быстрым модулем Optane Memory.



Эта модель использования накладывает ограничения на поддерживаемые железо и ОС:

- Процессор Intel Core 7-го поколения или новее
- Чипсет Intel 200 Series или новее (полный список тут)
- BIOS, в который интегрирован UEFI-драйвер RST версии 15.5 или новее (15.7 для серии чипсетов X299). Да, legacy-режим BIOSа не поддерживается – для Optane Memory обязательна загрузка в режиме UEFI
- Windows 10 64-bit
- Драйвер Intel Rapid Storage Technology 15.5 или новее
- Загрузочный SATA-накопитель (именно его будет ускорять Optane Memory). Поддерживается только разметка GPT.
- 5МБ свободного пространства в конце SATA-накопителя – это нужно для метаданных RST

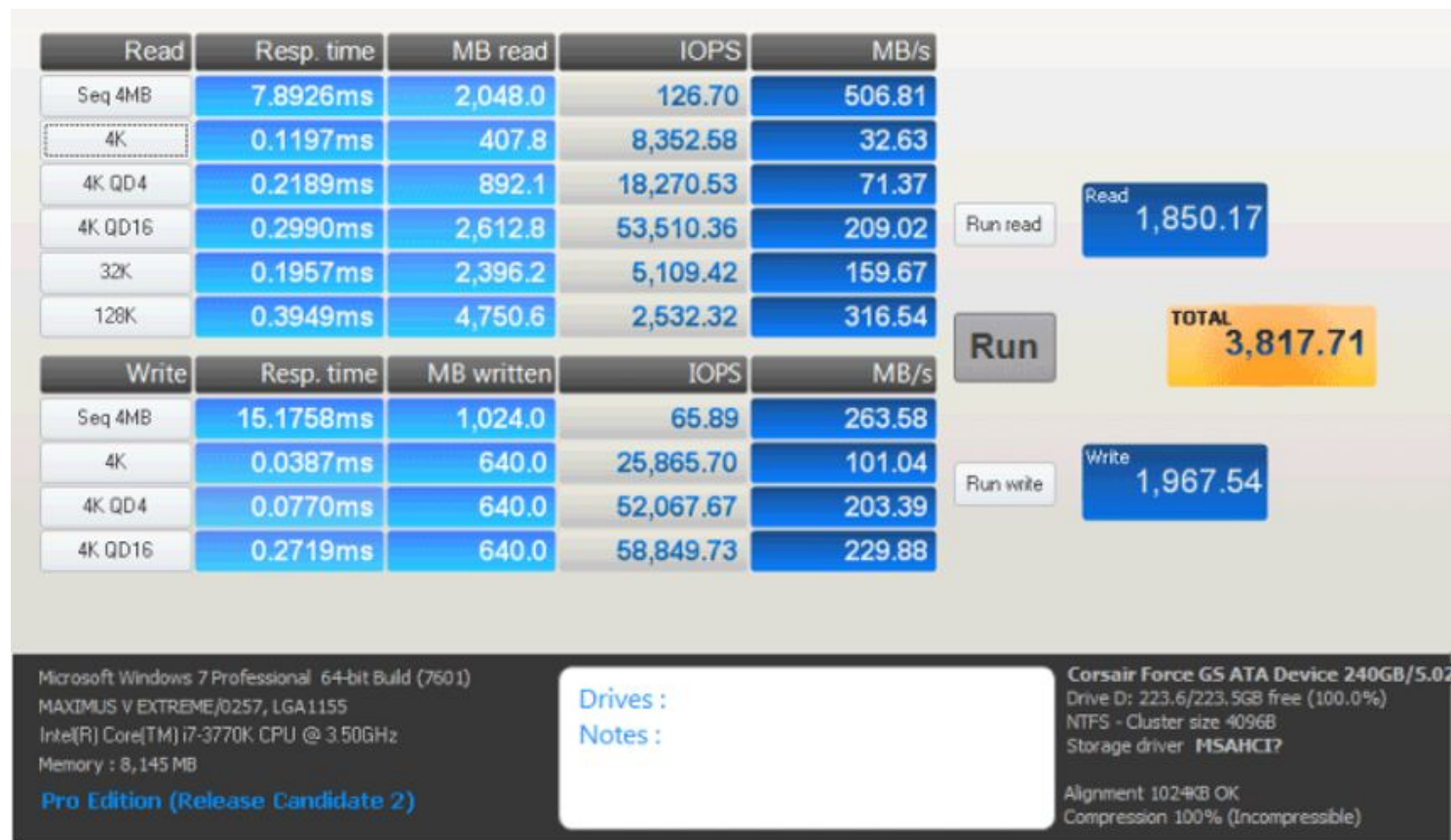


# Программы тестирования SSD



**Anvil's Storage Utilities** - это новая и весьма перспективная программа, предназначенная для комплексного тестирования и сравнения производительности разного рода накопителей информации. В данную программу, включен хороший тест Benchmark, проверяющий скорость чтения и записи блоками разных размеров и в несколько потоков.

Результаты представлены как в универсальных МБ/с, так и в относительных балах, которые можно использовать для сравнения нескольких SSD дисков между собой. На данный момент программа не требует регистрации и распространяется совершенно бесплатно.



Сайт разработчика:

<http://anvils-storage-utilities.en.lo4d.com>

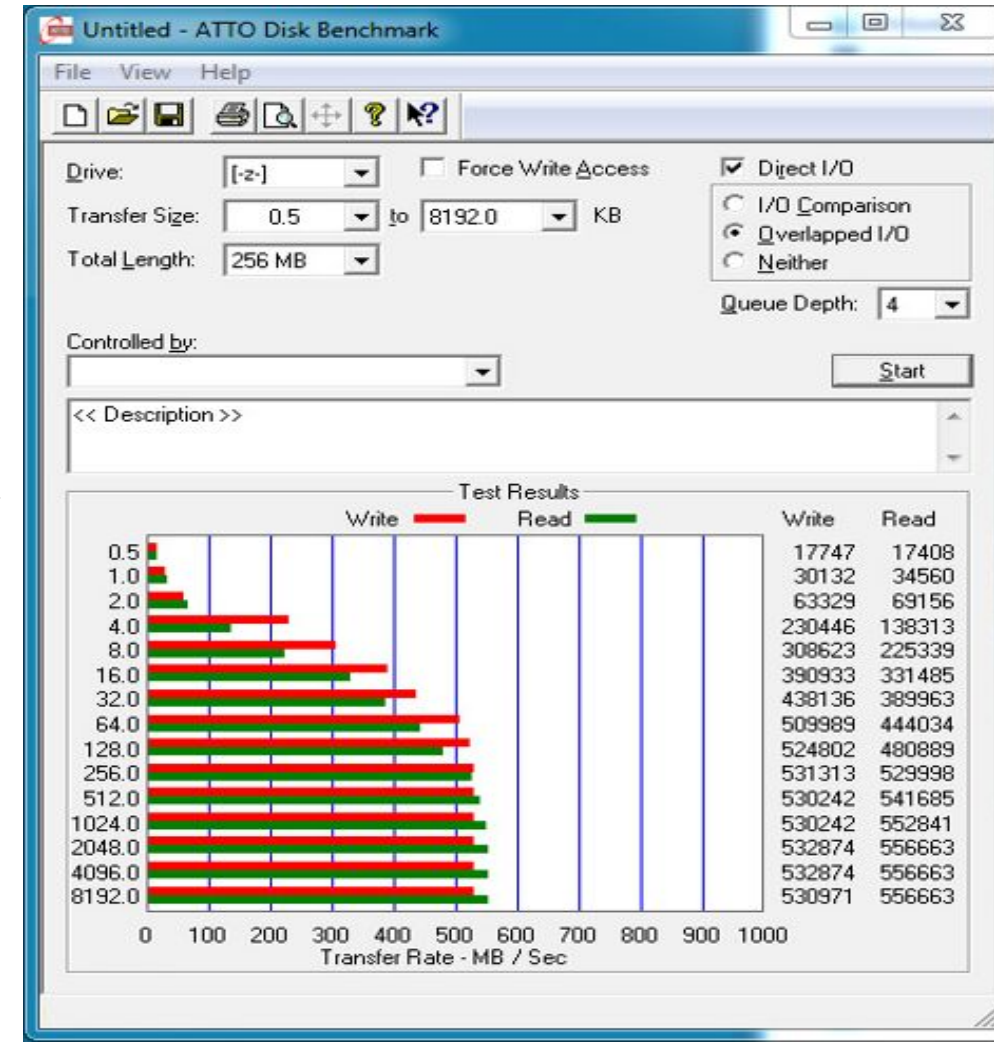


**ATTO Disk Benchmark** - старая, но проверенная временем программа, для тестирования скорости чтения/записи жестких дисков и твердотельных накопителей (SSD). Также предлагает неплохие возможности по тестированию RAID-массивов.

Отличительная особенность АТТО заключается в том, что она может тестировать накопители с predetermined размером блока. Таким образом можно провести тест объёмом 32 мегабайта, состоящего из множества файлов по 4 килобайта, или же тот же самый 32 мегабайтный тест, но уже состоящих из файлов по 1 мегабайту. Программа полностью бесплатная.

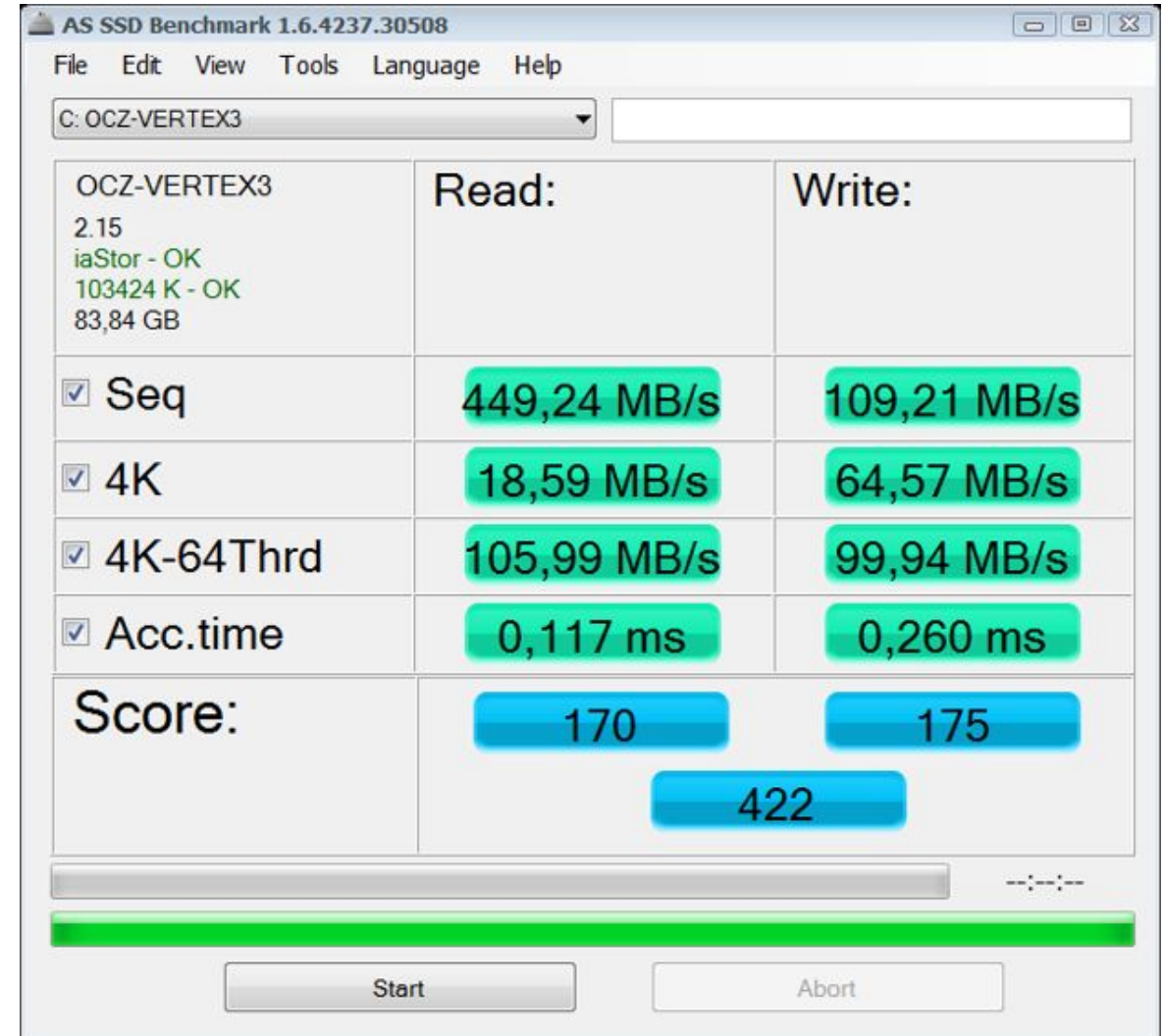
Сайт разработчика:

<https://www.attotech.com/disk-benchmark/>



**AS SSD Benchmark** - популярная программа, для тестирования скорости чтения/записи SSD накопителей.

AS SSD Benchmark стала фактически стандартом, при тестировании твердотельных накопителей, благодаря своим синтетическим тестам на скорость чтения и записи, а так же системы скоринга. Программа распространяется абсолютно бесплатно.



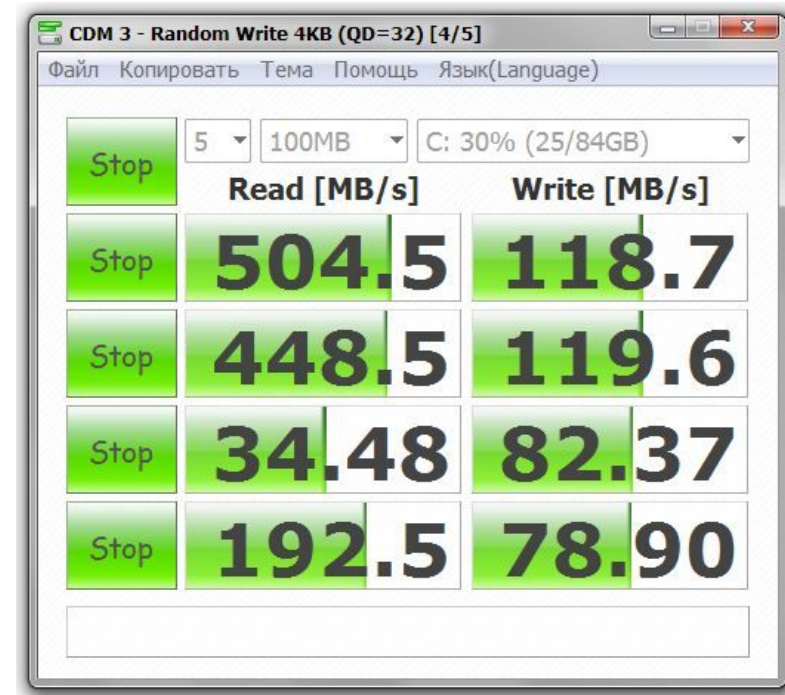


## CrystalDiskMark - тестируем скорость диска

Маленькая но очень качественная программа, для тестирования скорости чтения/записи накопителей. Программа давно стала хитом и активно используется компьютерными энтузиастами, для сравнения скоростных характеристик SSD накопителей. Программа бесплатная и имеет не только обычную, но также и Portable версию.

### Возможности программы

- All : Все тесты (Seq, 512K, 4K, 4K QD32);
- Seq : Тест последовательной записи/чтения (размер блока= 1024Кб);
- 512K : Тест случайной записи/чтения (размер блока = 512Кб);
- 4K : Тест случайной записи/чтения (размер блока = 4Кб);
- 4K QD32 : Тест случайной записи/чтения (размер блока = 4Кб, глубина очереди = 32) для NCQ и AHCI;



Сайт разработчика

<http://crystalmark.info/?lang=en>



# SSD Life - контроль срока службы SSD

SSD Life анализирует как активно вы используете свой твердотельный диск и по специальному алгоритму подсчитывает предполагаемый срок его службы. Разумеется, в зависимости от того как меняется интенсивность использования диска, корректируется и дата конца срока службы.

Вся информация о вашем SSD накопителе — от общей (производитель, модель) до технического (поддержка TRIM диском/системой) отображается в главном окне SSDLife.

The screenshot displays the SSDLife Pro software interface, version 2.2.42. The main window shows the status of three SSDs: OCZ Vertex 32GB (green), Intel X25-M G2 80GB (green), and Intel X25-V 40GB (yellow). The selected OCZ Vertex 32GB drive is shown in detail with the following information:

- Состояние диска:** Здоровье диска - ОТЛИЧНО! (Excellent)
- Здоровье диска:** Здоровье диска в порядке и при текущем режиме использования срок службы - до: Август 20, 2024
- Информация:** OCZ-VERTEX (Fw: 1.5), Всего/свободно: 32,0ГБ / 20,7ГБ, Время работы: 6255 часов (8 месяцев 20 дней 15 часов), Включений: 126 раз, TRIM: поддерживается, включен, Здоровье: 87%, Срок службы: 12 лет 6 месяцев 12 дней (дата T.E.C. - Август 20, 2024)
- Управление:** Кнопки управления программой - обновление данных, запись лога, настройки и другие
- Статистика чтения/записи:** Таблица с данными за последние дни и всего.

Обмен с диском	Сегодня	Вчера	за 7 дней	Всего
Прочитано, ГБ.	2,9	2,8	36,2	1818,0
Записано, ГБ	3,0	2,8	35,0	1319,6

Additional interface elements include a 'СПИСОК ВСЕХ ДИСКОВ И ИХ СТАТУС' (List of all disks and their status) on the left, 'СОСТОЯНИЕ ДИСКА' (Disk status) on the right, and 'ИЗОБРАЖЕНИЯ' (Images) on the right showing the physical drive and logo. The bottom of the window features a toolbar with various icons for navigation and settings.



# Сравнительное тестирование SSD-накопителей на PCI Express

SSD Kingston HyperX Predator

SSD M.2 накопитель Samsung 950 PRO [MZ-V5P512BW]



# SSD Kingston HyperX Predator

**HyperX Predator SSD** – представляет собой SSD-накопитель, основанный на шине **PCIe Gen 2.0 x4**. Основываясь на высокой пропускной способности шины PCI-E, HyperX Predator работает быстрее стандартных накопителей с SATA-интерфейсом, обеспечивая пользователю скорость до 1400Mb/c чтения и до 1000Mb/c записи данных, что позволяет комфортно работать в многозадачном режиме и намного увеличивает общую производительность ПК. Форм-фактор M.2 подходит для всех компьютеров с разъемом PCIe M.2.



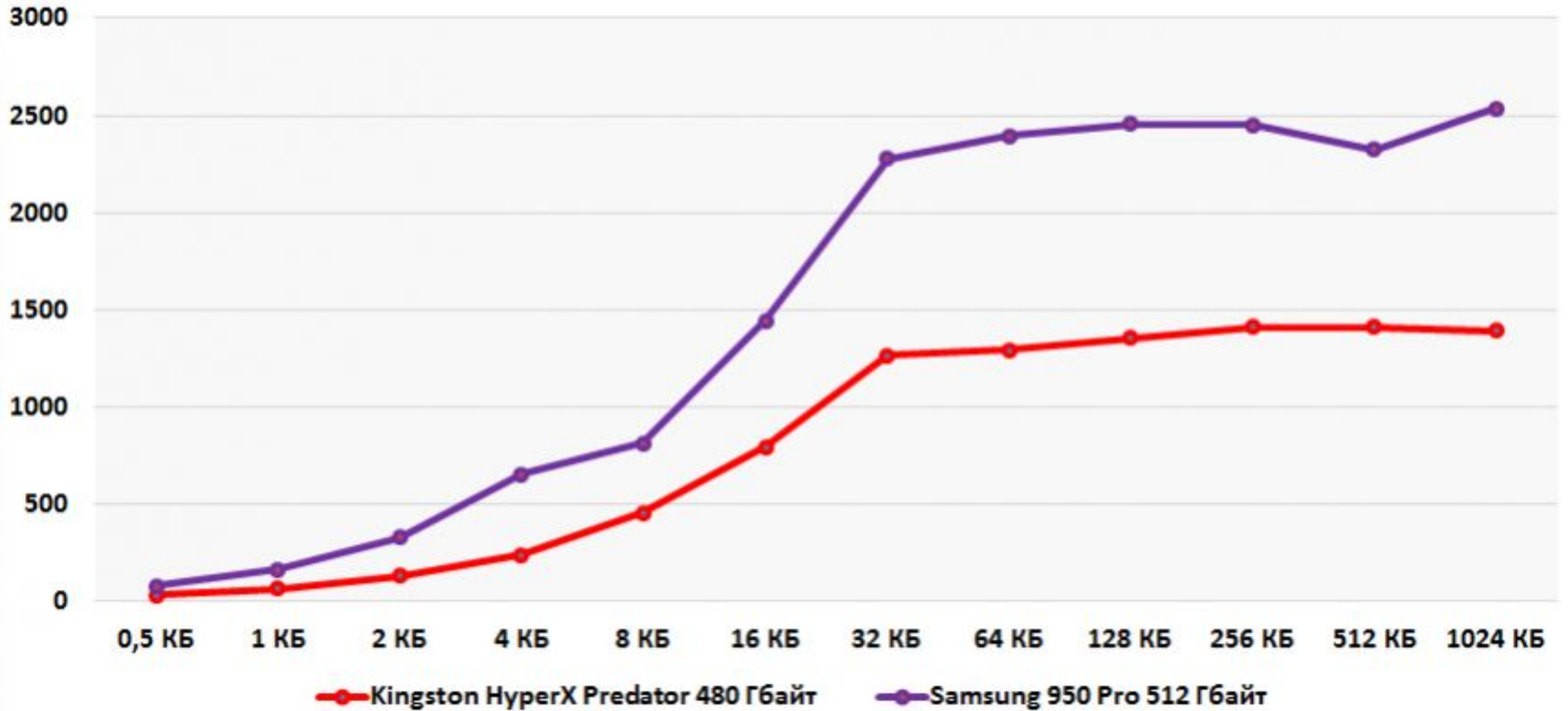
# SSD M.2 накопитель Samsung 950 PRO [MZ-V5P512BW]

SSD 950 PRO объединяет передовую V-NAND память, высокопропускную шину **PCI Express Gen 3 x4**, с минимальной задержкой обработки большого объема данных поскольку использует NVMe - протокол доступа к SSD, подключенным по шине **PCI Express**, имеет современный компактный формат M.2.



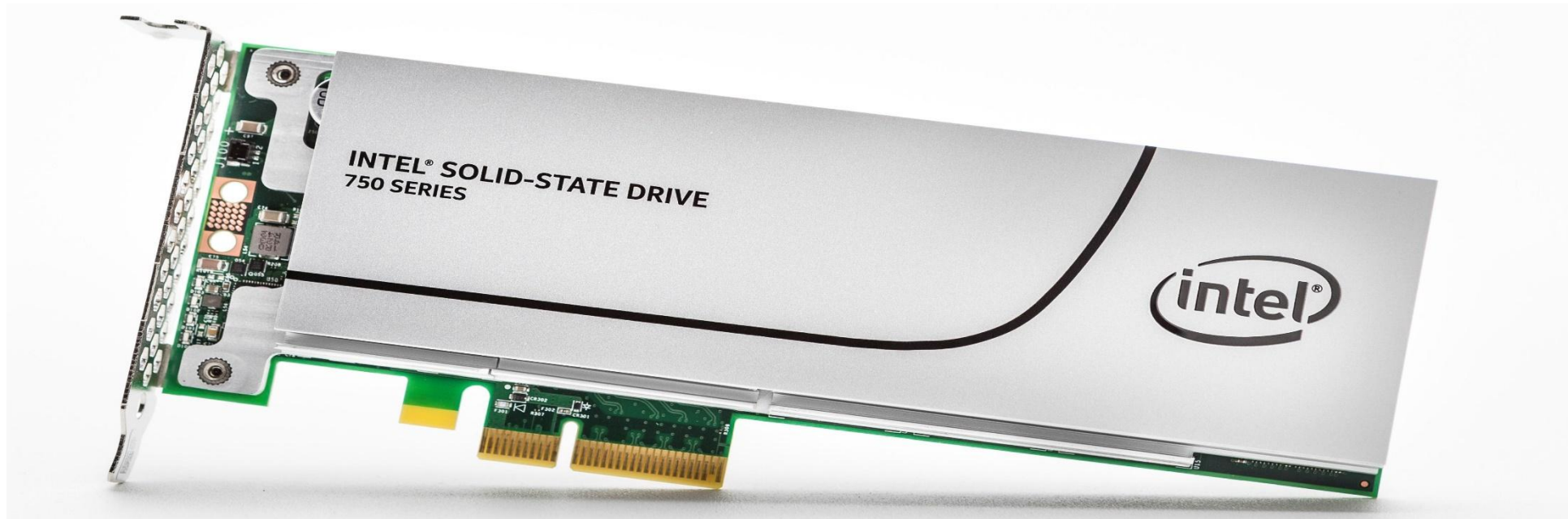
	<b>Kingston HyperX Predator</b>		<b>Samsung 950 Pro</b>	
<b>Форм-фактор</b>	M.2 2280		M.2 2280	
<b>Интерфейс</b>	PCI Express x4 2.0		PCI Express x4 3.0, NVMe	
<b>Объем</b>	240 Гбайт	480 Гбайт	256 Гбайт	512 Гбайт
<b>Память</b>	TOSHIBA, 19 нм, MLC, 128 Гбит		Samsung, MLC V-NAND, 128 Гбит	
<b>Контроллер</b>	Marvell 88SS9293		Samsung UBX	
<b>Буферная память</b>	DDR3-1600, 512 Мбайт	DDR3-1600, 1024 Мбайт	LPDDR3-1600, 512 Мбайт	
<b>Максимальная скорость последовательного чтения/записи</b>	1400/600 Мбайт/с	1400/1000 Мбайт/с	2200/900 Мбайт	2500/1500 Мбайт/с
<b>Максимальная скорость произвольных чтения/записи</b>	160 000 119 000 IOPS	130 000 118 000 IOPS	270 000 85 000 IOPS	300 000 110 000 IOPS
<b>Ресурс записи</b>	415 Тбайт	882 Тбайт	200 Тбайт	400 Тбайт
<b>Гарантия</b>	3 года		5 лет	
<b>Цена</b>	15 220 руб.	42 499 руб.	15 799 руб.	30 499 руб.

## АТТО, линейное чтение, Мбайт/с



# Для большей наглядности добавим к сравнению:

Intel SSD 750 (еще один NVMe-накопитель с PCI Express  
x4 3.0)



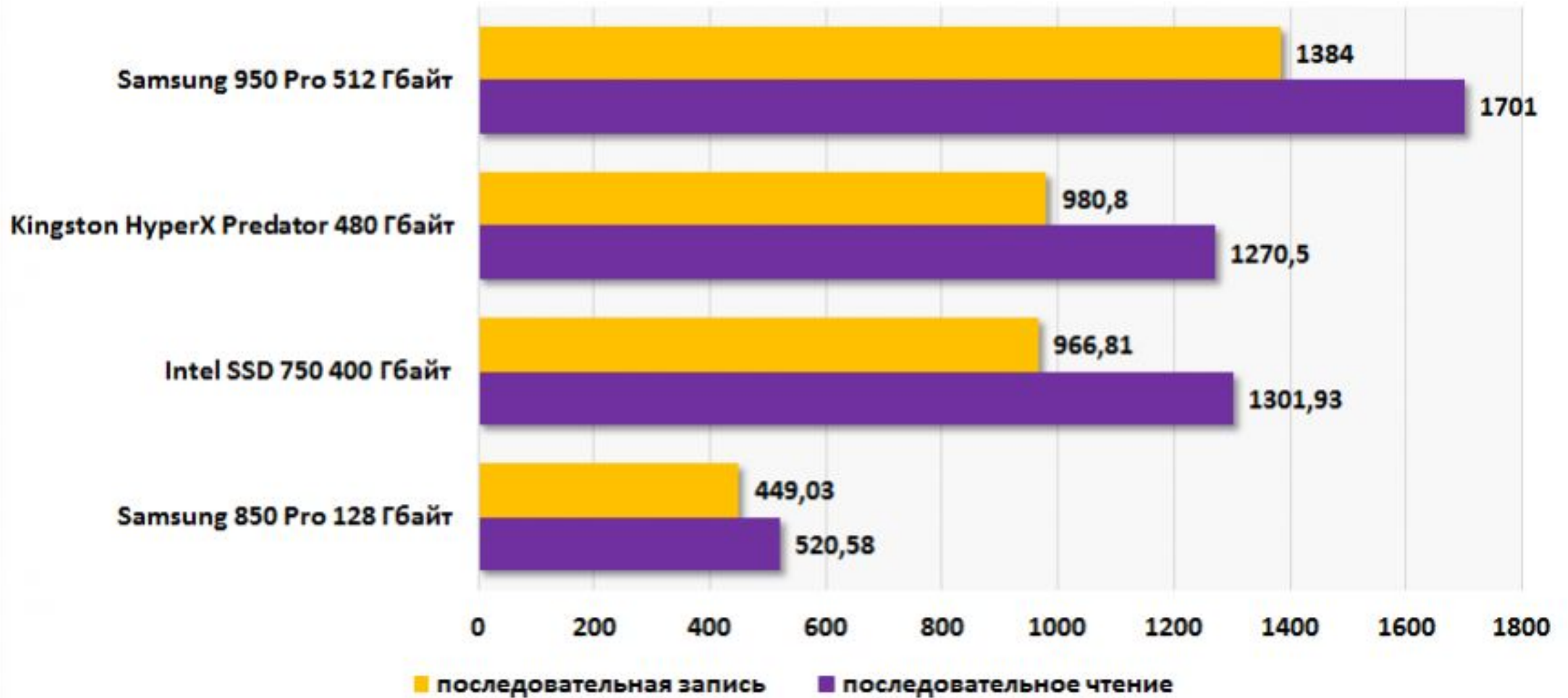


# Для большей наглядности добавим к сравнению:

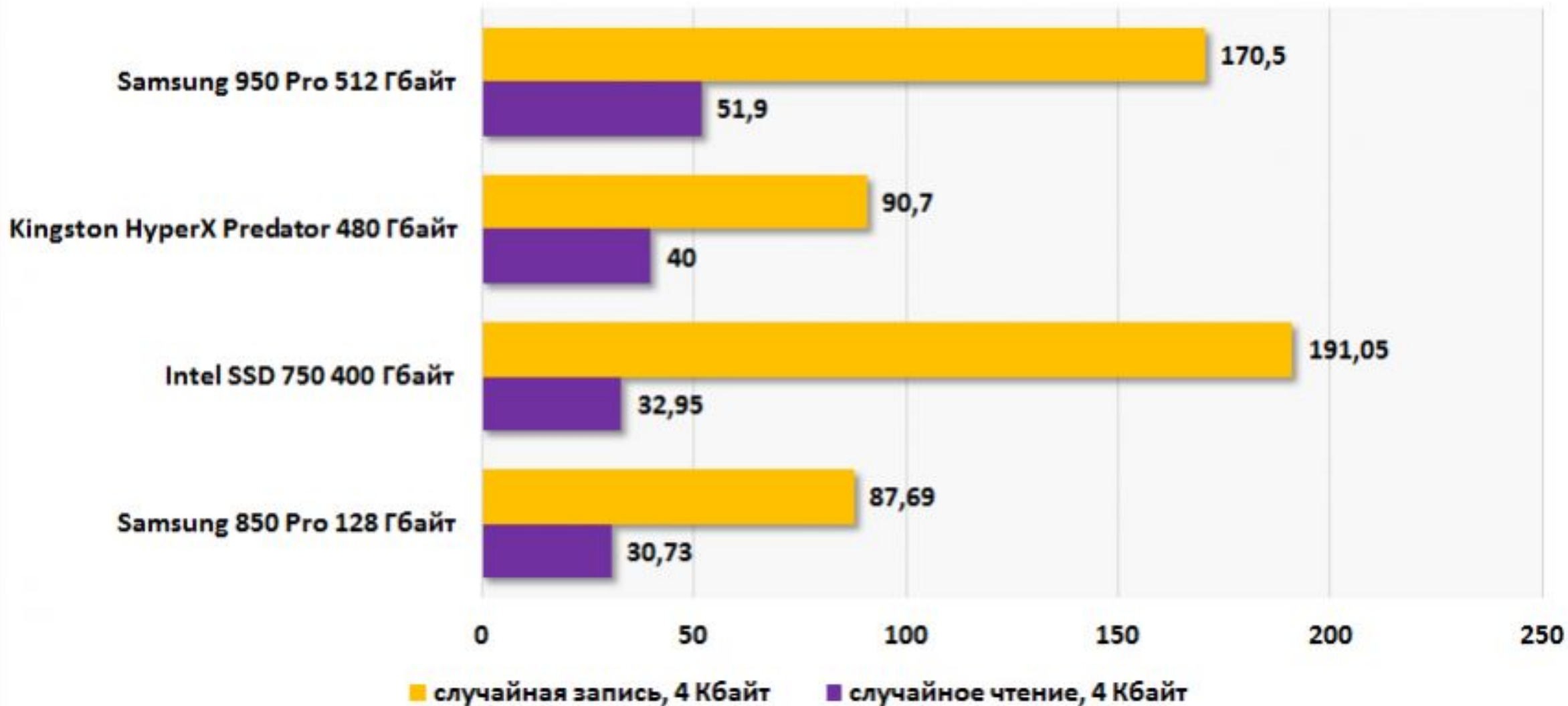
Samsung 850 Pro — абсолютно заслуженный флагман среди SATA-устройств.



## IOmeter, Мбайт/с



## IOmeter, Мбайт/с

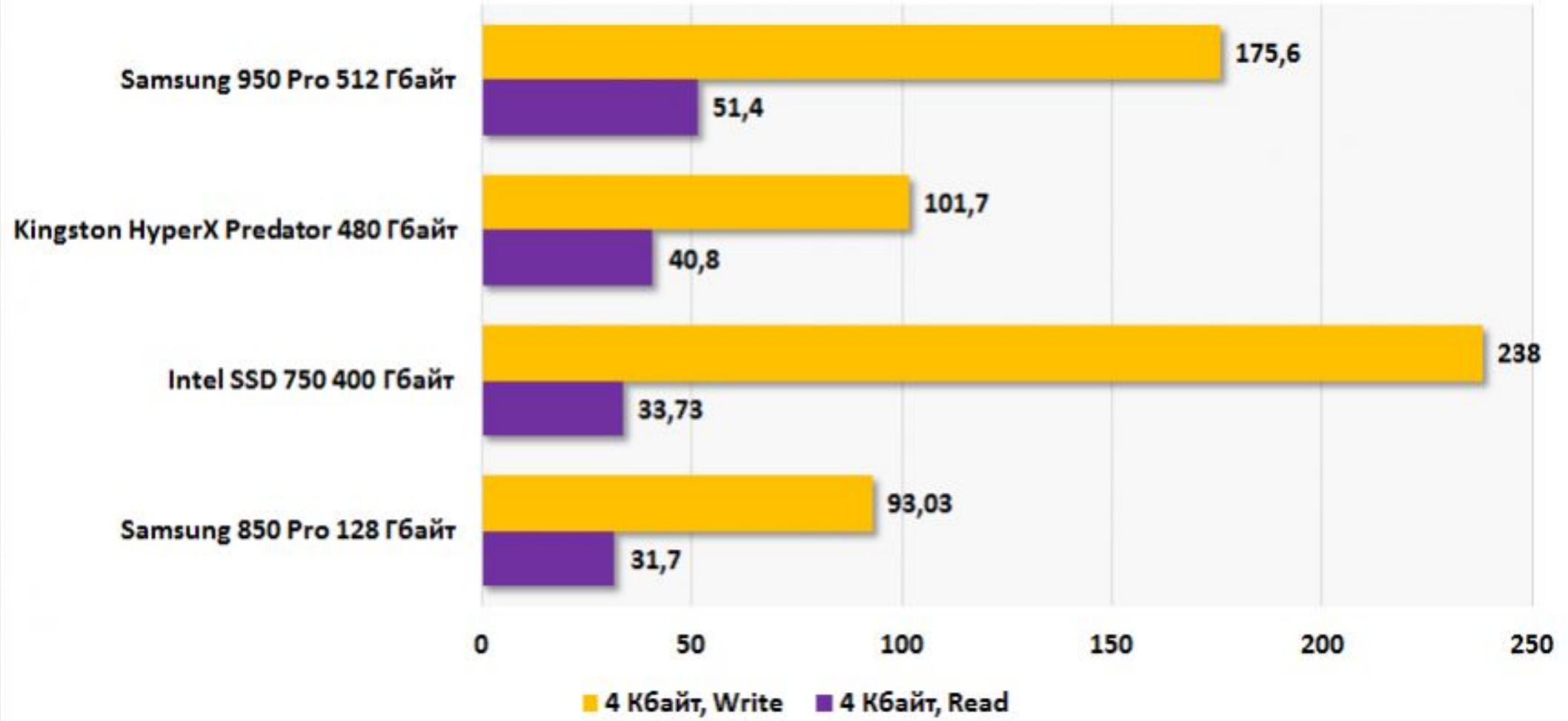


## По результатам тестирования:

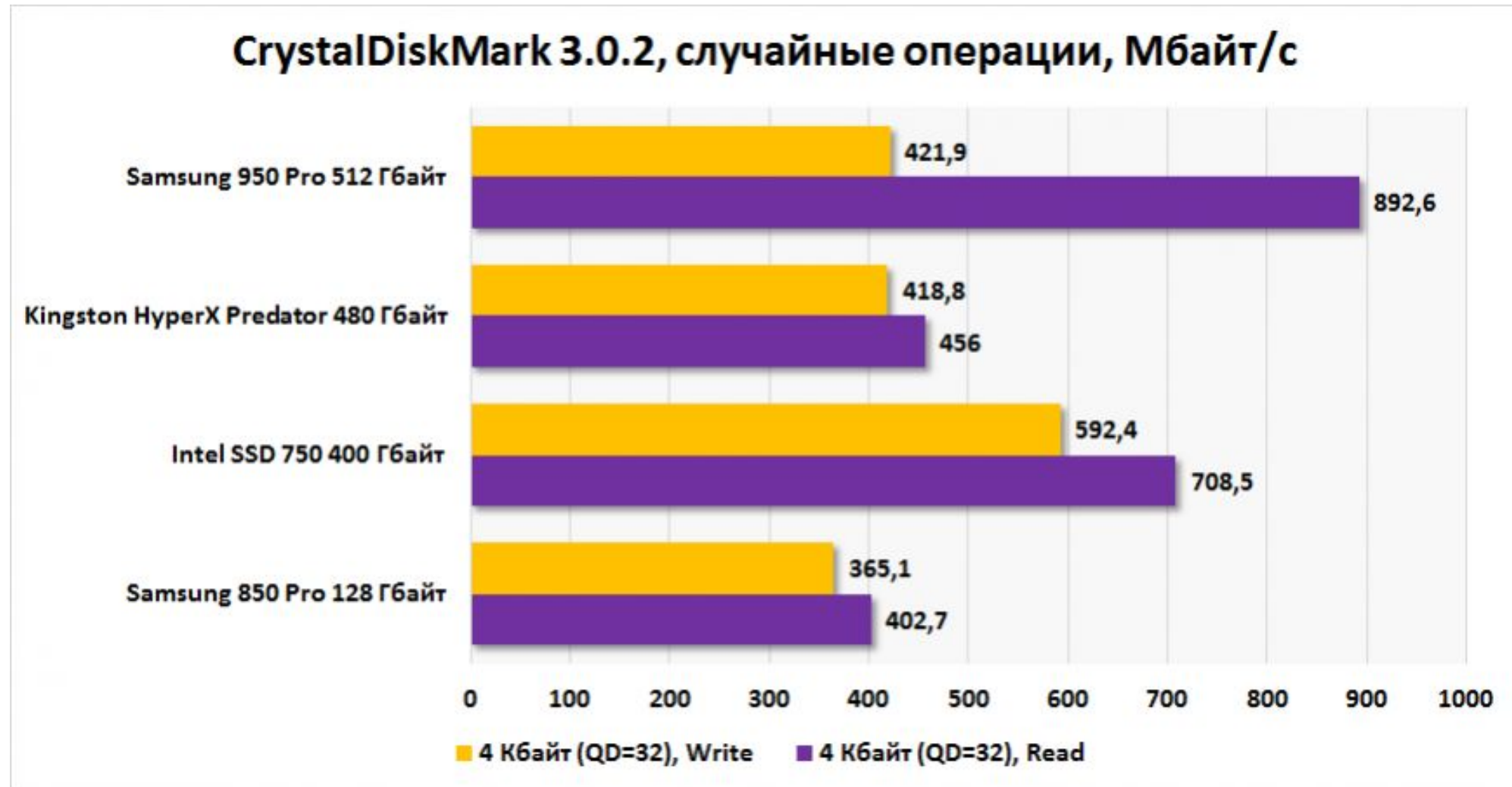
- Samsung 950 Pro 512 Гбайт показывает достойный результат. Почти 52 Мбайт/с для чтения — лучший результат.
- В операции записи 950 Pro уступил SSD 750 от Intel. Тяжело состязаться в этом режиме с накопителем, у которого 18-канальный контроллер.
- А вот решение Kingston «скатилось» до уровня 850 Pro. Результат все равно хороший, но SATA-флагман буквально наступает на пятки. Подобный регресс (на фоне великолепных показателей в линейных операциях) связан с работой контроллера, который использует четырехкратное чередование устройств на каждый канал.



## CrystalDiskMark 3.0.2, случайные операции, Мбайт/с



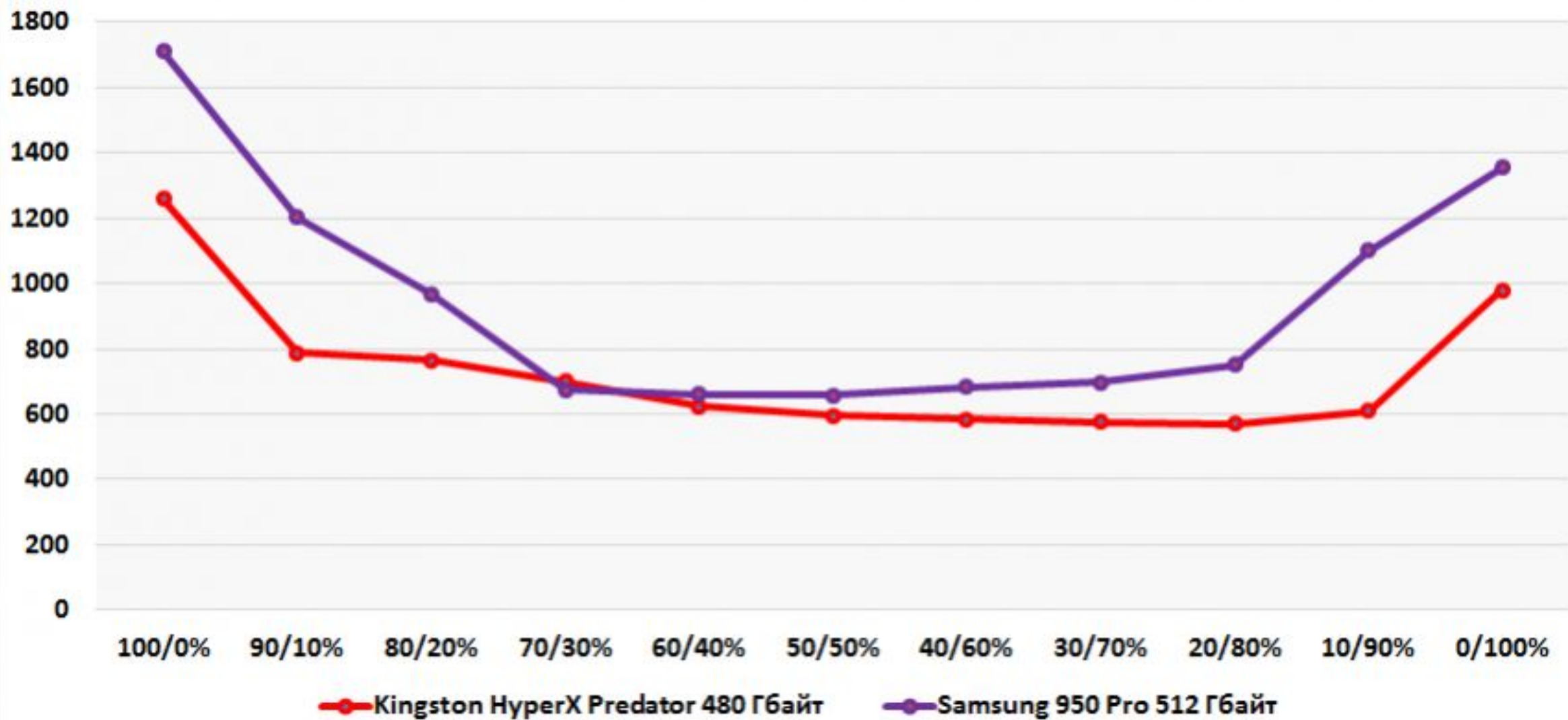
# Случайные чтение/запись блоков по 4 Кбайт (QD=32)



- Смешанная нагрузка — тяжелый паттерн для любого твердотельного накопителя. При последовательных только чтении или только записи оба SSD выдают свой максимум.
- Стоит накопителю слегка переориентировать работу, как производительность моментально падает. Чем сильнее операции записи превалируют над чтением, тем хуже становится результат.

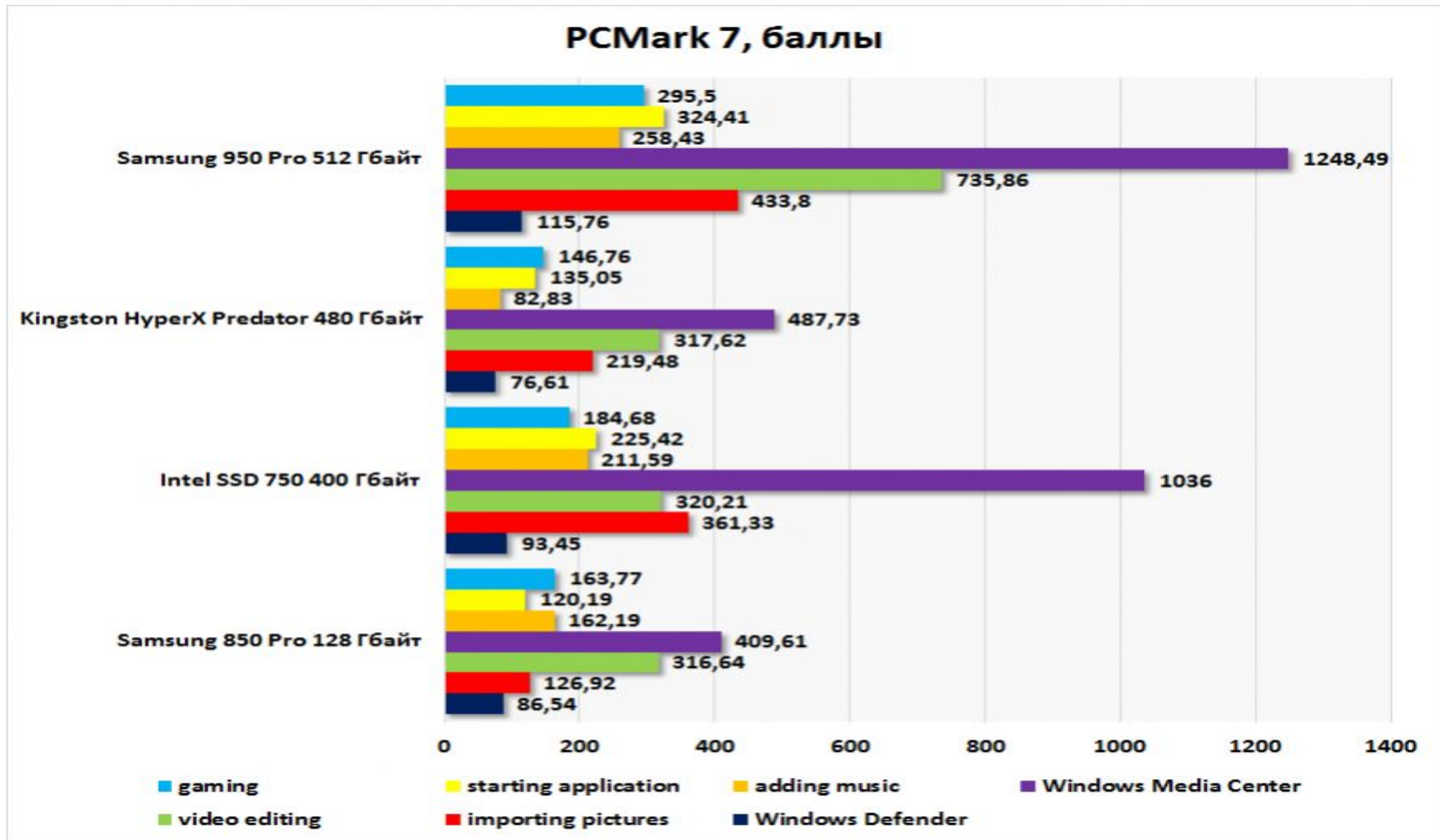


## Смешанная нагрузка, чтение/запись (128 Кбайт), Мбайт/с

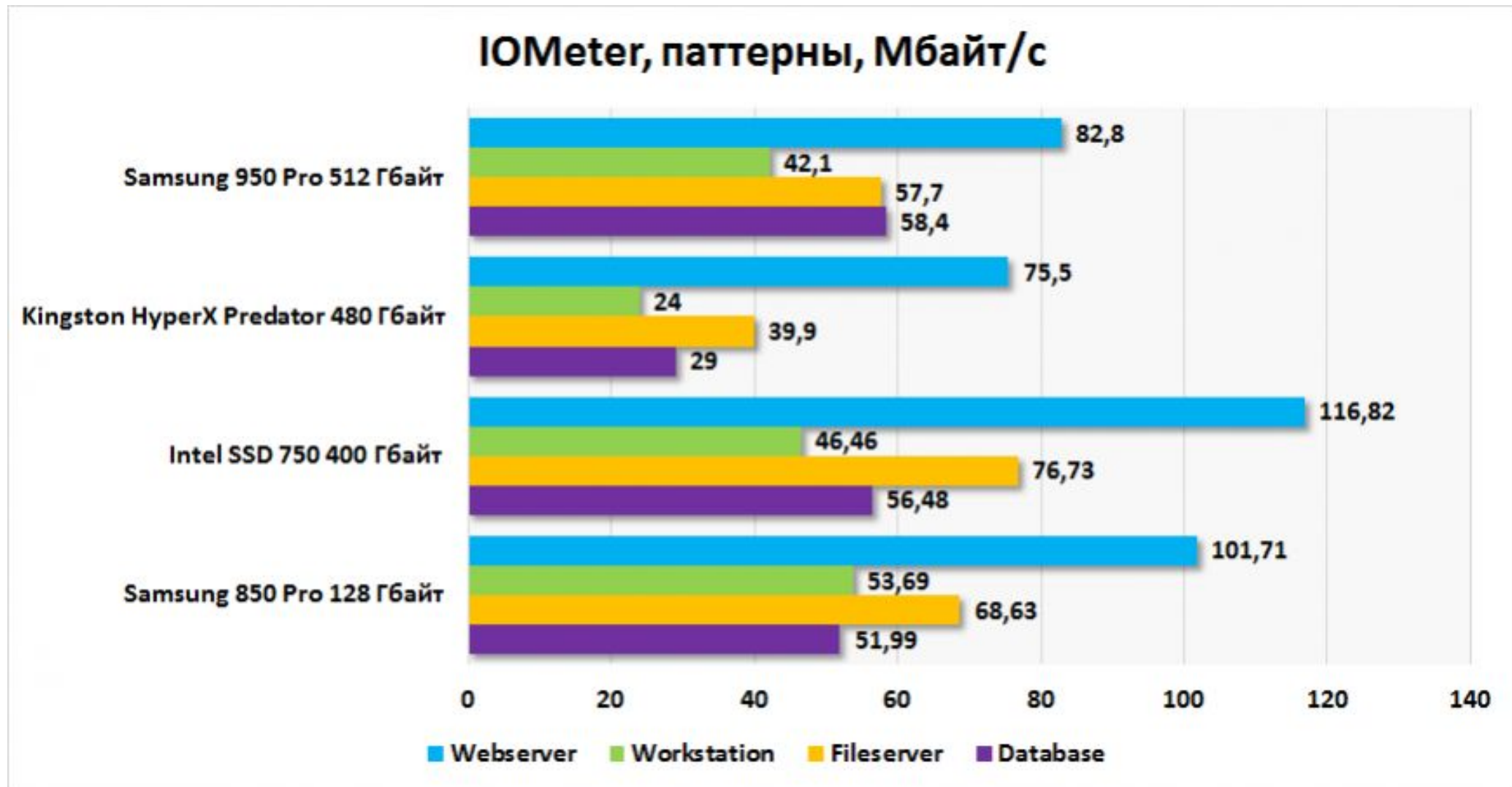




# Рассмотрим производительность испытуемых образцов в приложениях, симулирующих повседневную деятельность пользователя:



**Если же M.2-накопители нагрузить серьезными серверными задачами, то они откровенно сдуваются. Все же подобный тип устройств разработан для более простых задач.**



Оба накопителя прилично греются. Samsung 950 Pro, под нагрузкой (случайная запись 4-килобайтных данных на протяжении десяти минут) он нагрелся свыше 100 градусов Цельсия, по показателям тепловизора. HyperX Predator температура оказалась ниже, чем у Samsung 950 Pro, но это все равно нагрев существенный. Накопители тестировались на открытом стенде. Температура помещения в момент испытаний составляла 25 градусов Цельсия.



Нагрев Kingston HyperX Predator



Нагрев Samsung 950 Pro



## По результатам теста можно сделать вывод, что:

- Во-первых, вряд ли HyperX Predator и Samsung 950 Pro подойдут для установки в ноутбук. Так как накопитель может сильнее разогреться в еще более тесном пространстве.
- Во-вторых, необходим хорошо вентилируемый корпус. Еще лучше направить прямо на SSD вентилятор. Еще один способ избежать перегрева: использовать HHL-плату, которая будет забирать на себя часть тепла.



HyperX Predator и 950 Pro обладают очень высокими скоростями. Конкретно модель Samsung — однозначный рекордсмен среди SSD потребительского класса. Так что все самые производительные решения в скором времени будут ассоциироваться именно с форм-фактором M.2 и интерфейсом PCI Express x4 3.0. Но пока решения уровня HyperX Predator и 950 Pro серьезно не подешевеют, то SATA будет существовать.

- Во-первых, большинство пользователей устраивает уровень быстродействия подобных решений.
- Во-вторых, они стоят заметно дешевле.

Один гигабайт памяти 512-гигабайтной версии 950 Pro стоит порядка 53 рублей. Один гигабайт модели 850 Pro аналогичного объема — 38 рублей. Один гигабайт модели 850 EVO — 28 рублей.



# Настройка ОС на SSD



## Для чего нужно настроить работу Windows на SSD

У SSD накопителей существует определенное количество циклов перезаписи информации, при достижении которого накопитель перестает определяться системой. Главная задача - это как можно эффективнее снизить количество перезаписей. А Windows очень любит постоянно что-то записывать и перезаписывать в кеш и временные папки.

### Оптимизация Windows 8 под SSD.

#### ШАГ №1

Для начала, перед установкой на новый SSD операционной системы Windows 8, необходимо зайти в настройки BIOS настраиваемого ПК и поставить для SATA-интерфейса режим AHCI, являющийся более правильным для технологии TRIM твердотельного накопителя. В первую очередь, это делается для того, чтобы ОС корректно определяла, какие блоки удалены или отформатированы и могут быть заполнены новыми данными.

Функция TRIM разработана специально для работы Windows 8 с SSD накопителями. Эта функция помечает более не используемые блоки данных на SSD. Эти блоки постепенно перезаписываются, а не накапливаются как на обычных винчестерах и не ждут дефрагментации.

Следует убедиться, что в Windows 8 поддержка TRIM активирована.

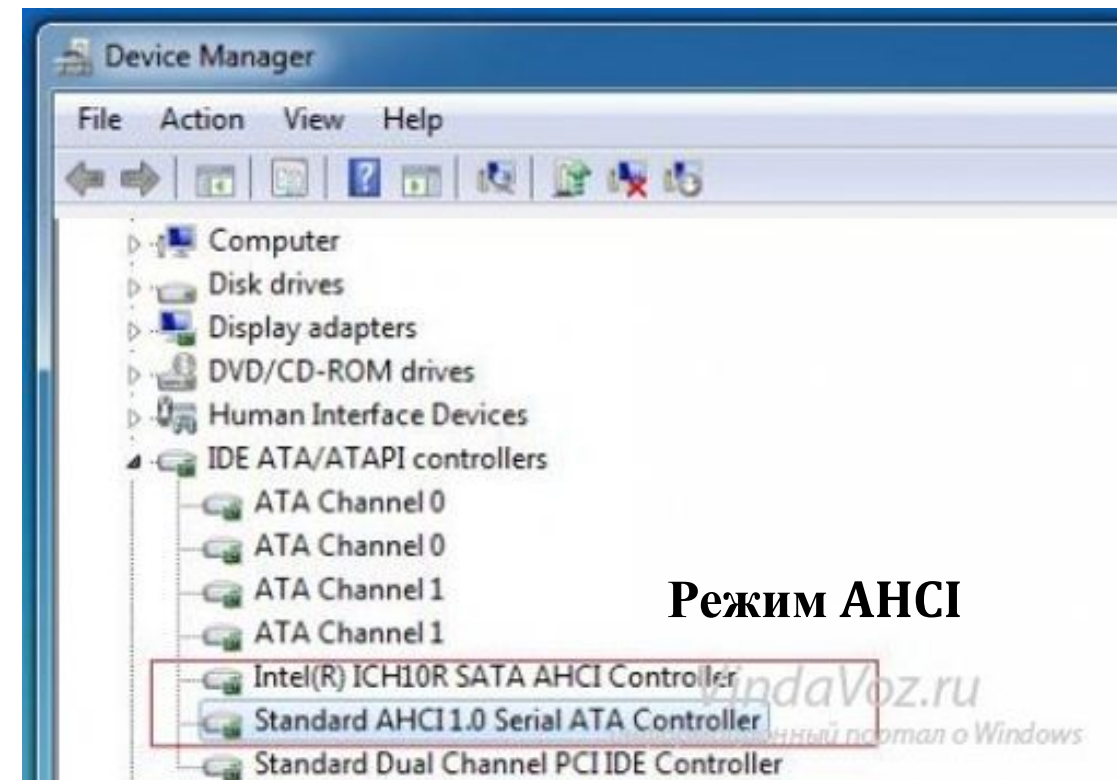
Это можно сделать из командной строки.

Команда:

`fsutil behavior query DisableDeleteNotify`

`DisableDeleteNotify = 0` – поддержка команды TRIM включена

`DisableDeleteNotify = 1` – функция TRIM выключена.





## ШАГ №2

Нужно отключить индексацию диска (постоянный мониторинг дерева файлов на диске). Для этого зайдите в проводник, выберите «Мой компьютер», далее нужный диск, выбираете свойства диска и снимаете галочку с пункта «Разрешить индексировать файлы». Дождаться завершения операции.

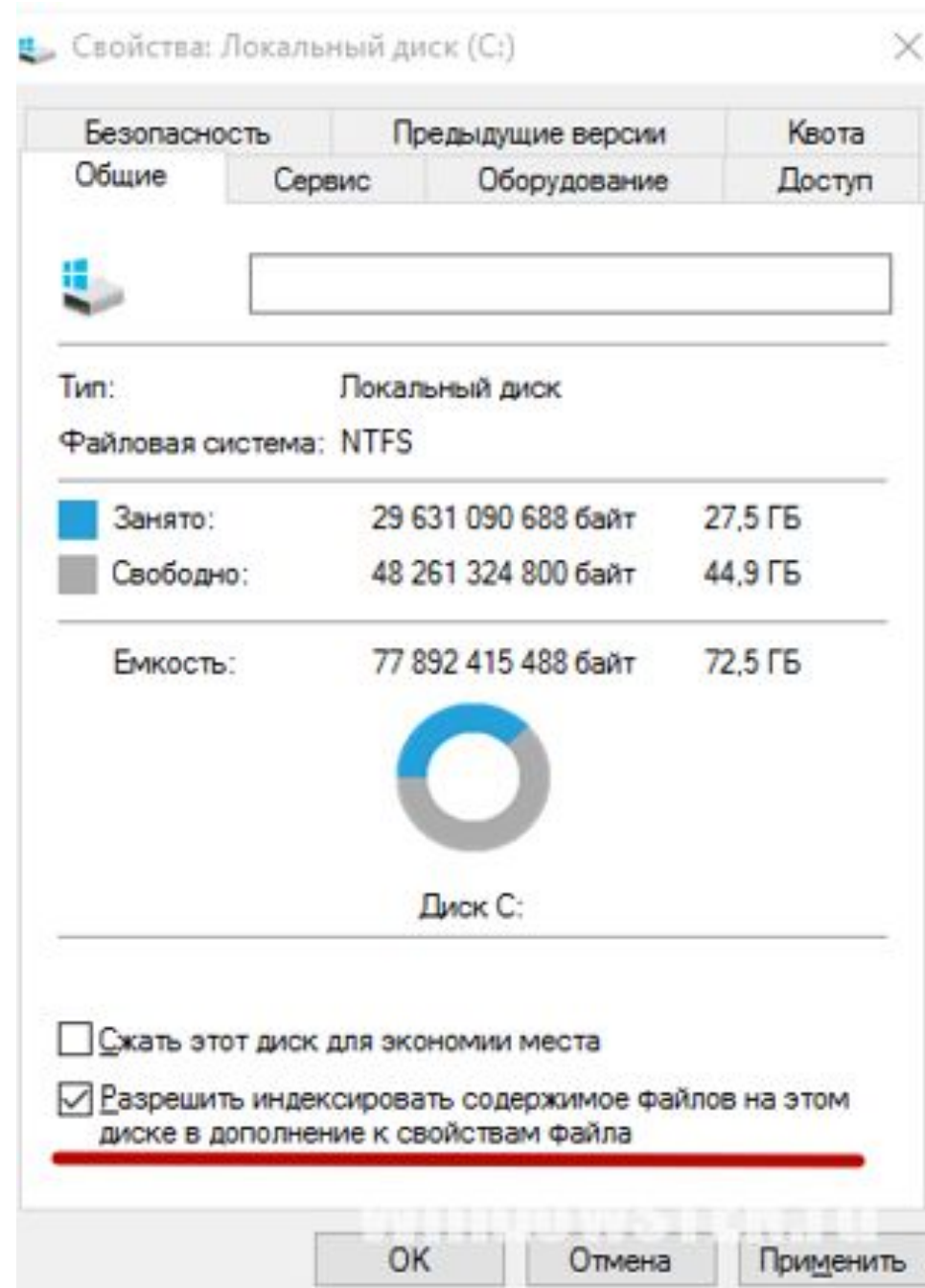
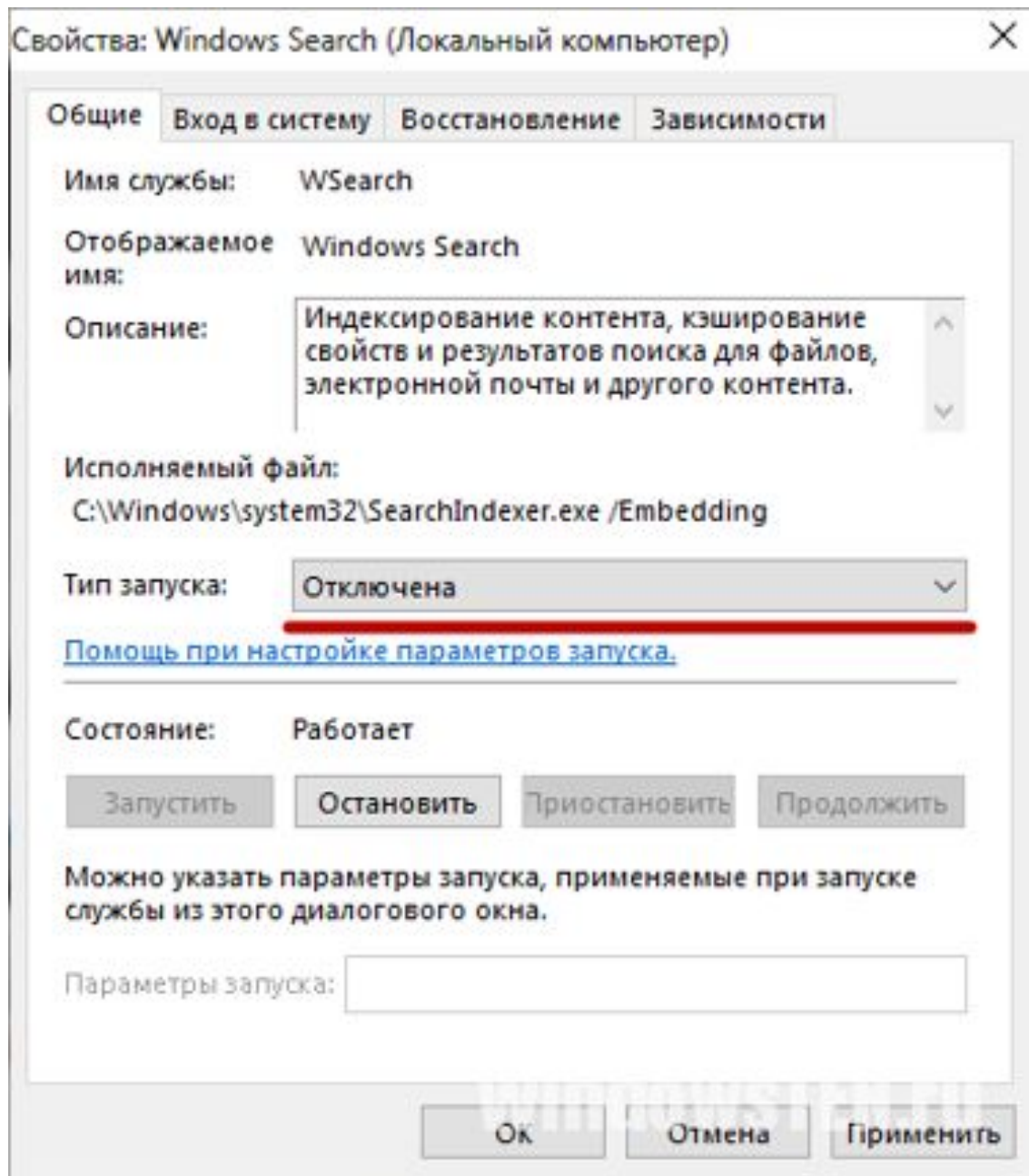
## ШАГ №3

Отключаем службы поиска Windows 8. Поскольку время доступа к SSD заметно меньше, чем для обычного HDD, эта служба больше не актуальна.

Чтобы сделать это:

- откройте программу «Выполнить» (Win+R) и наберите команду `services.msc`, чтобы запустить мастер управления службами Windows;
- найдите активную службу Windows Search и откройте ее свойства;
- измените тип запуска на «отключено»;
- остановите службу (кнопка «стоп») и сохраните настройки.





## ШАГ №4 (необязателен)

Выключаем функцию восстановления операционной системы. Проблема тут заключается в том, что если с ОС что-то случится, откатить ее до начального состояния вы уже не сможете, так как резервные копии в случае отключения службы не создаются.

Поэтому сначала подумайте, прежде чем выполнять следующие шаги:

- через «Мой компьютер» переходим в свойства, далее на вкладку «Дополнительные параметры», «Защита системы»;
- находим ваш установленный SSD по имени. Кликаем на «Настроить»;
- далее выбираем функцию «Отключить защиту системы», сохраняем.



## ШАГ №5

Отключение файла подкачки ОС или уменьшение его исходного размера. Если у вас на компьютере установлено более 4 Гб оперативной памяти, смело можете убирать этот файл.

Проделайте для этого следующие шаги:

- перейти в свойства компьютера;
- открыть вкладку Дополнительно, выбрать пункт «Быстродействие» и в дополнительном меню найти параметр «Виртуальная память» - «Изменить»;
- убираем галочку с пункта «Автоматический выбор файла подкачки» и делаем активной опцию «Не использовать файл подкачки»;
- сохраняем и перезагружаемся.

Помните, если у вас подключен также обычный жесткий диск, вы можете перенести этот файл на него, тем самым не потеряв в производительности.



## **ШАГ №6**

Пользу принесет и отключение гибернации Win 8 (ОС засыпает – уходит в гибернацию – сохраняет все содержимое на винчестер и отключает энергопитание от ОЗУ), при этом система перестанет постоянно сохранять все данные на твердотельный накопитель, уходя в сон. Для этого вам понадобится прописать команду при помощи Win+R (Выполнить): `powercfg -h off` и перезагрузить систему.

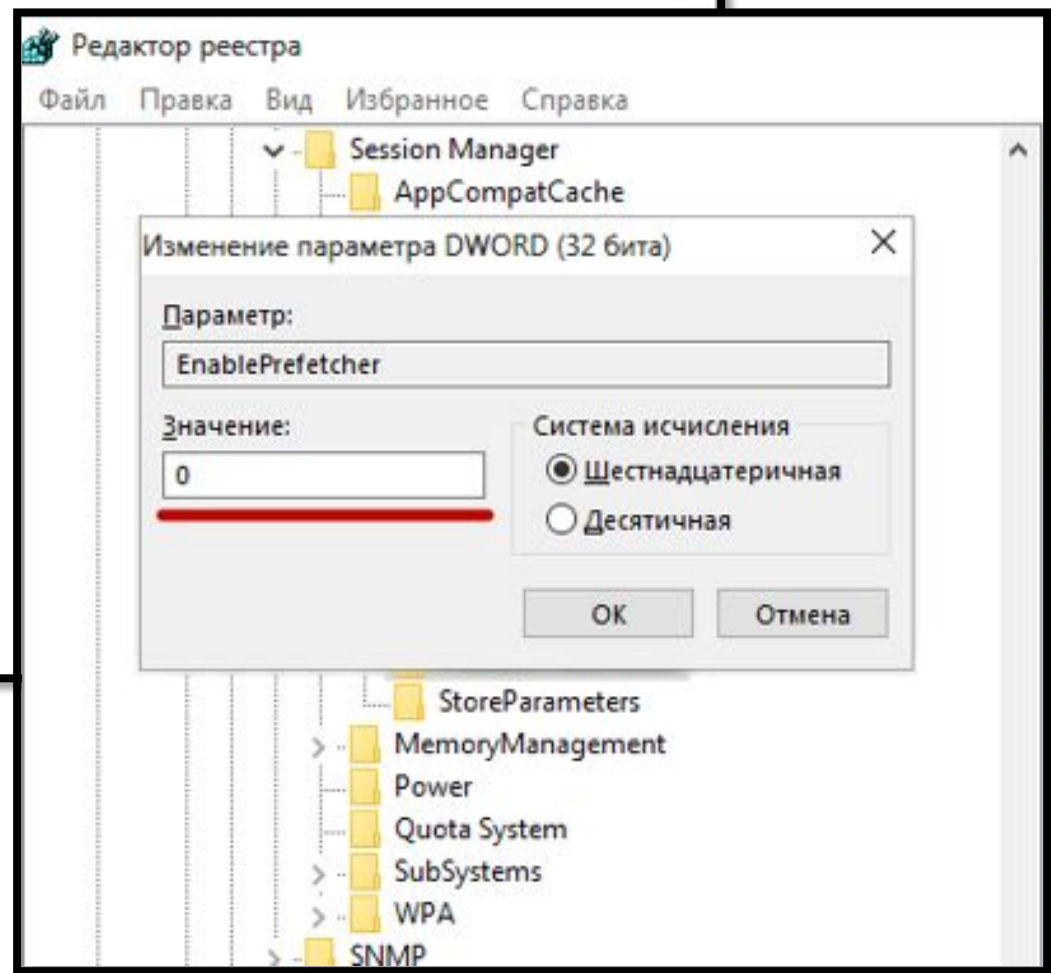
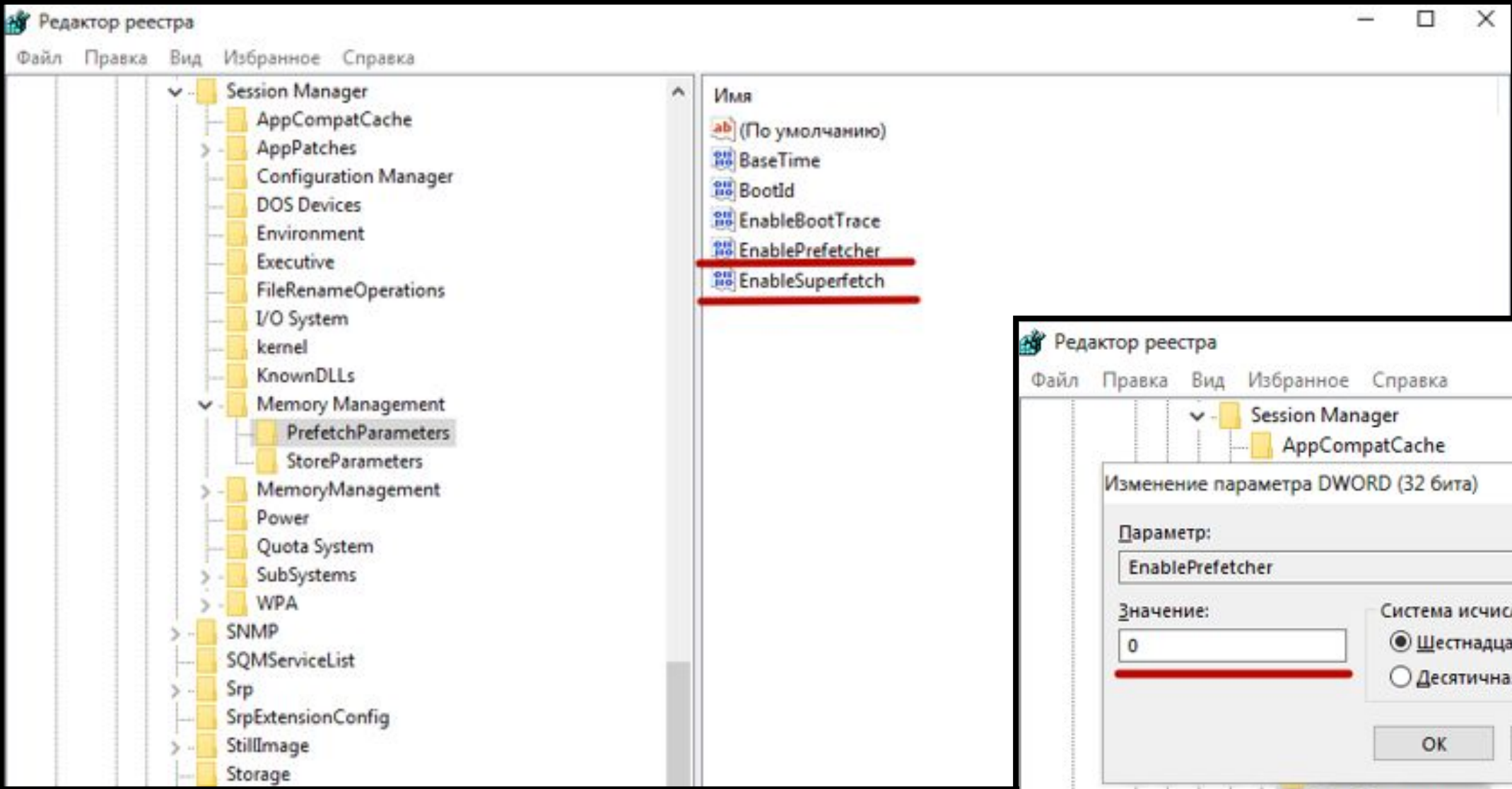
## **ШАГ №7**

Последняя из возможных системных оптимизаций — отключения стандартных в Win 8 служб Prefetch и Superfetch, кэширующих всю информацию для ускорения запуска часто используемых программ.

Чтобы проверить, что службы деактивированы или выключить их самостоятельно, выполните следующие действия:

- Win+R – и прописываем `regedit.exe` (откроется редактор реестра);
- переходим по ветке `HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\Control\Session Manager\Memory Management\PrefetchParameters`
- смотрим на ключи `EnableSuperfetch=0` (стандартно там стоит 3), `EnablePrefetcher=0` (стандартно также стоит 3);
- при любом значении, отличном от 0, меняем его, сохраняем и перезагружаемся.





## Дефрагментация SSD накопителя в Windows 8

**Дефрагментация** — процесс обновления и оптимизации логической структуры раздела диска.

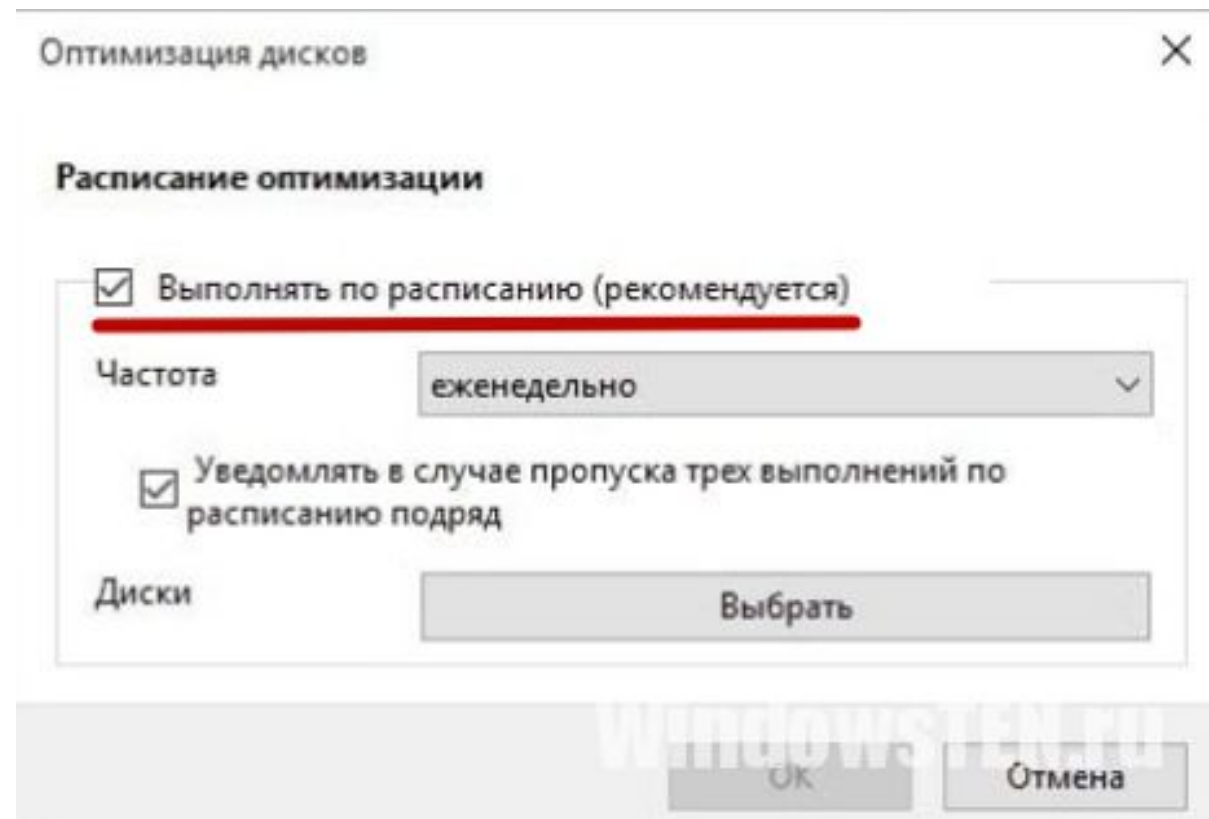
В Windows 8 при работе с SSD дефрагментация не нужна, поскольку это только сокращает жизненный цикл диска. Но все же одноразовая дефрагментация позволит частично переместить фрагменты файлов и освободить ячейки, в которых эти фрагменты хранятся продолжительное время. В дальнейшем дефрагментация будет задействовать только участки SSD-накопителя, в которых происходит постоянная перезапись ячеек, то есть те области, в которые сохраняются временные файлы, что приведет только к большему износу ячеек.

Чтобы избавиться от нее потребуется отключить автоматическое обслуживание для SSD, а так же создать файл для работы с TRIM, иначе эта команда будет отключена, что приведет к нежелательным последствиям.



Эта же инструкция прекрасно работает и с Windows 10, единственным отличием является возможность беспроблемного отключения дефрагментации диска

- В окне «Выполнить» введите «дефрагментация» → запустите утилиту.
- Оптимизация дисков → блок Оптимизация по расписанию → Изменить параметры → снимите галочку с пункта «Выполнять по расписанию (рекомендуется)».



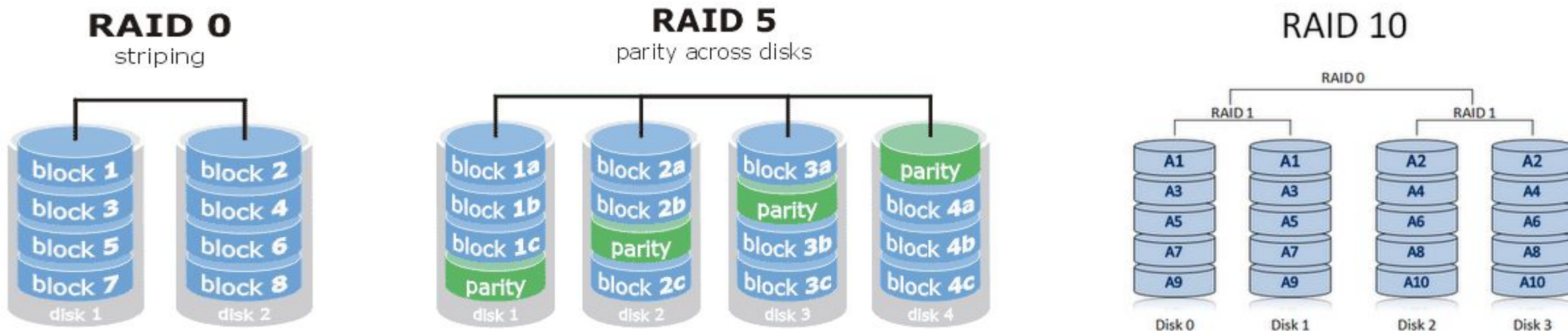


# RAID массив из SSD



С точки зрения максимизации производительности интерес в первую очередь представляет массив RAID 0. За счёт разбиения данных на блоки фиксированной длины и чередования дисков для их хранения достигается кратный (в теории) рост быстродействия, однако при этом снижается надёжность хранения информации, так как выход из строя хотя бы одного диска приводит к потере всех данных.

Впрочем, если хочется иметь не только производительный, но и отказоустойчивый массив данных, в котором с выходом из строя одного из дисков потери информации не произойдёт, внимание следует уделить RAID-массивам уровня 5 или 10. Однако собрать такой RAID массив из SSD дисков окажется далеко не дешевой идеей.



Для сравнения с SATA RAID контроллером набора логики Intel Z87 был выбран аналогичный контроллер из чипсета предыдущего поколения, Intel Z77 а так же AMD A85X.

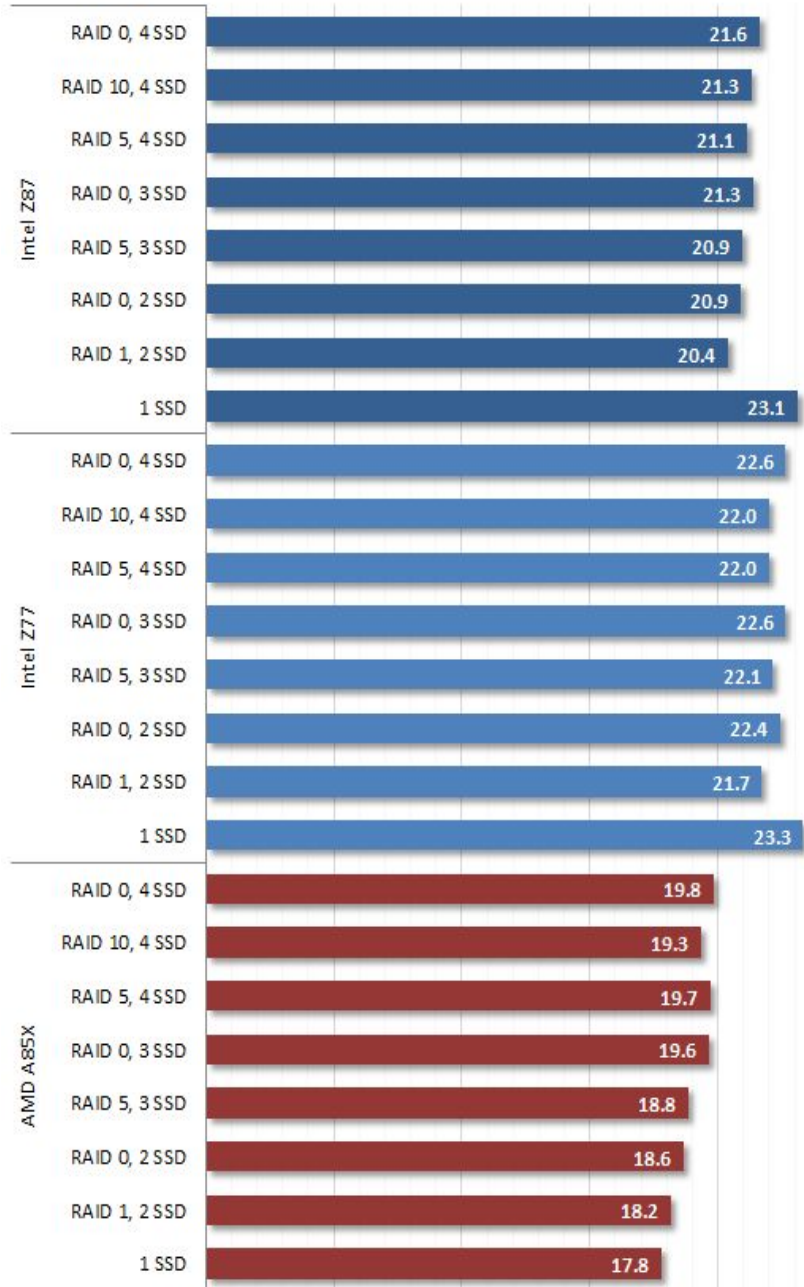
*Команда TRIM с накопителями, объединёнными в RAID.* Правильная обработка этой подаваемой операционной системой команды обеспечивает неизменность характеристик RAID-массива из SSD, в противном случае входящие в массив твердотельные накопители существенно теряют в производительности операций записи что отрицательно сказывается на быстродействии всего массива.

Если накопители объединены в RAID-массив, работоспособность TRIM начинает зависеть не только от операционной системы и собственно SSD, но и от контроллера.

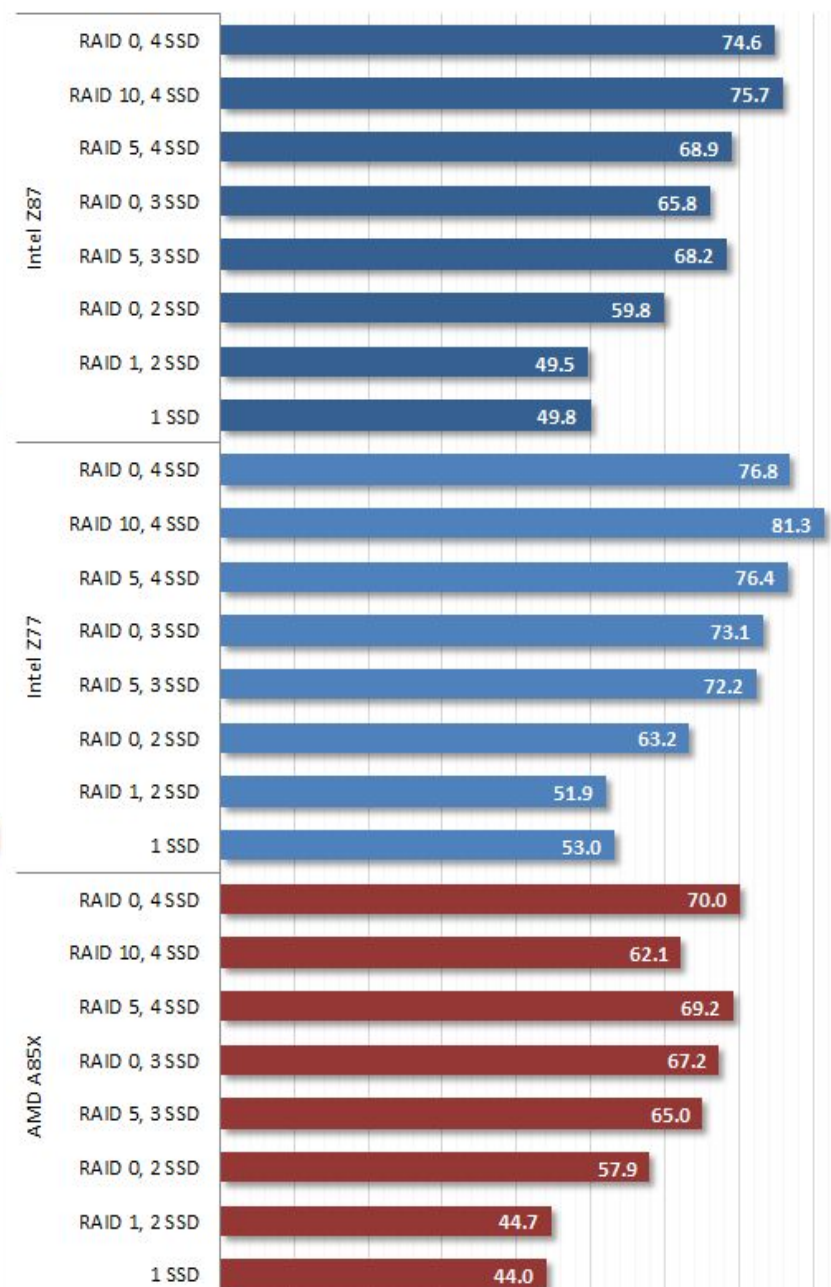
	Работоспособность TRIM				
	Одиночный SSD	RAID 0 (2, 3, 4 SSD)	RAID 1 (2 SSD)	RAID 5 (3, 4 SSD)	RAID 10 (4 SSD)
Intel Z87	Работает	Работает	Не работает	Не работает	Не работает
Intel Z77	Работает	Работает	Не работает	Не работает	Не работает
AMD A85X	Работает	Не работает	Не работает	Не работает	Не работает



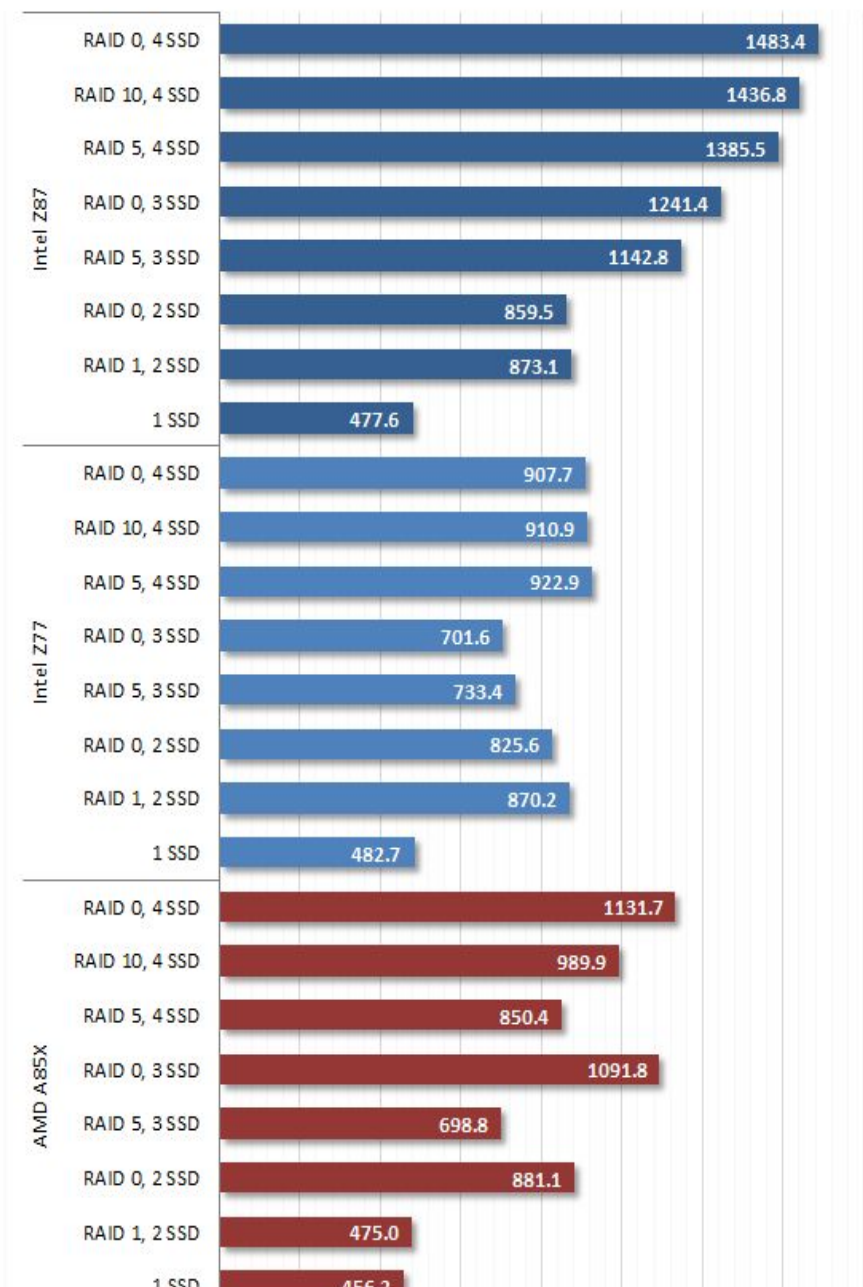
Random Read 4K, MB/s



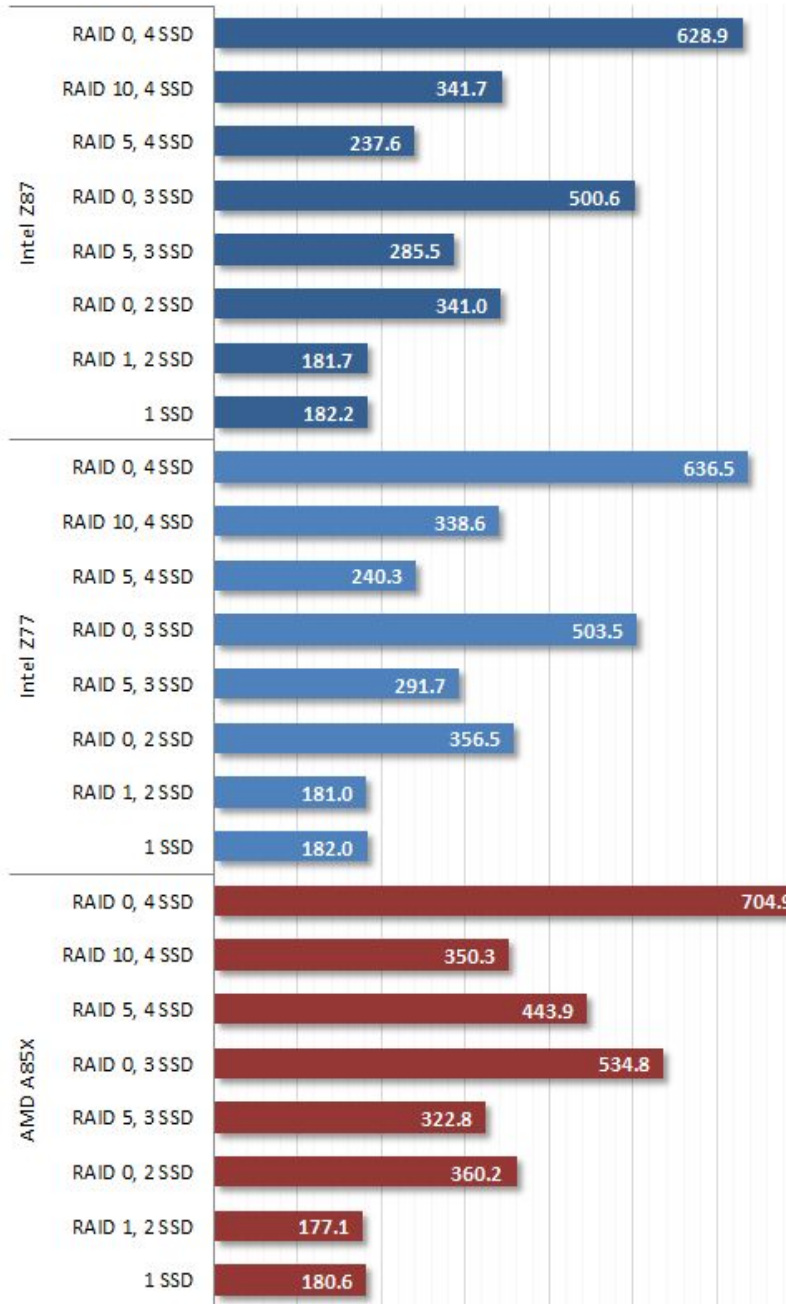
Random Read 4K QD=4, MB/s



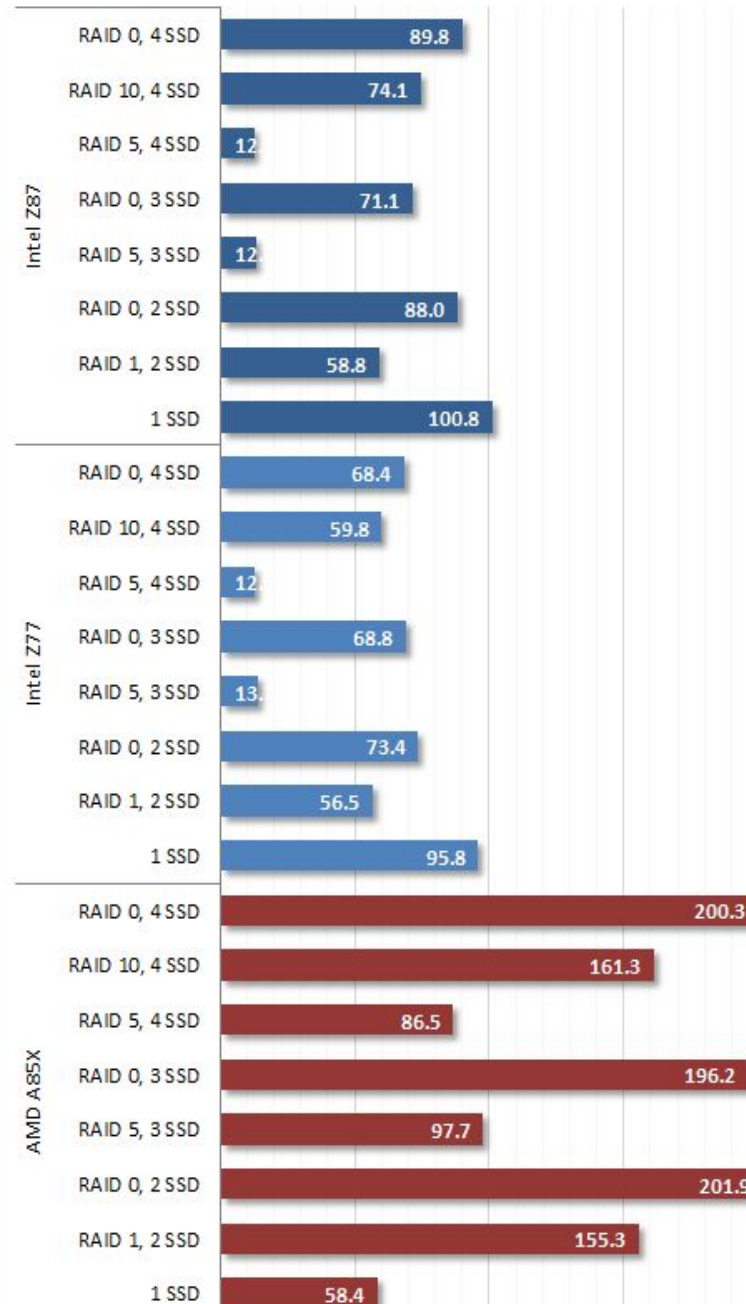
Sequential Read, MB/s



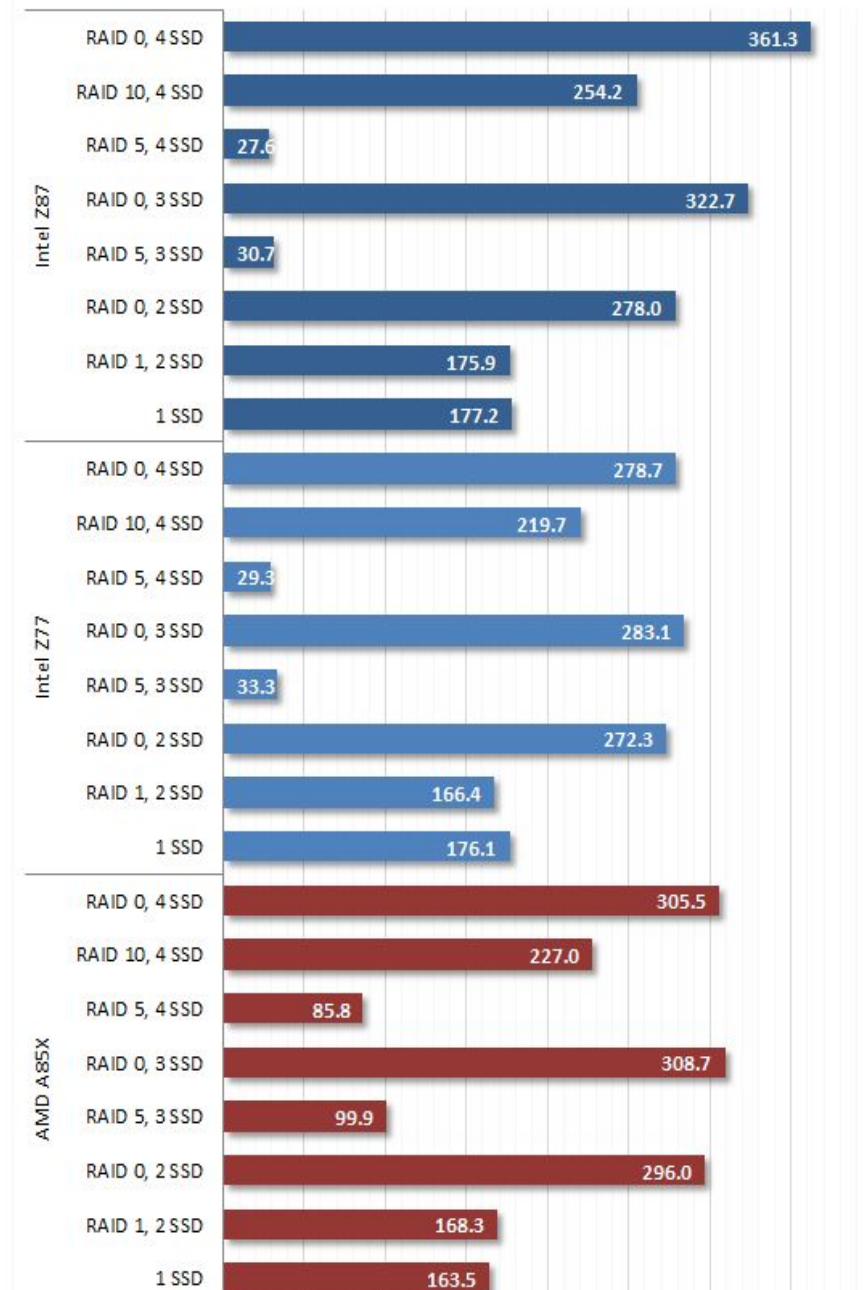
### Sequential Write, MB/s



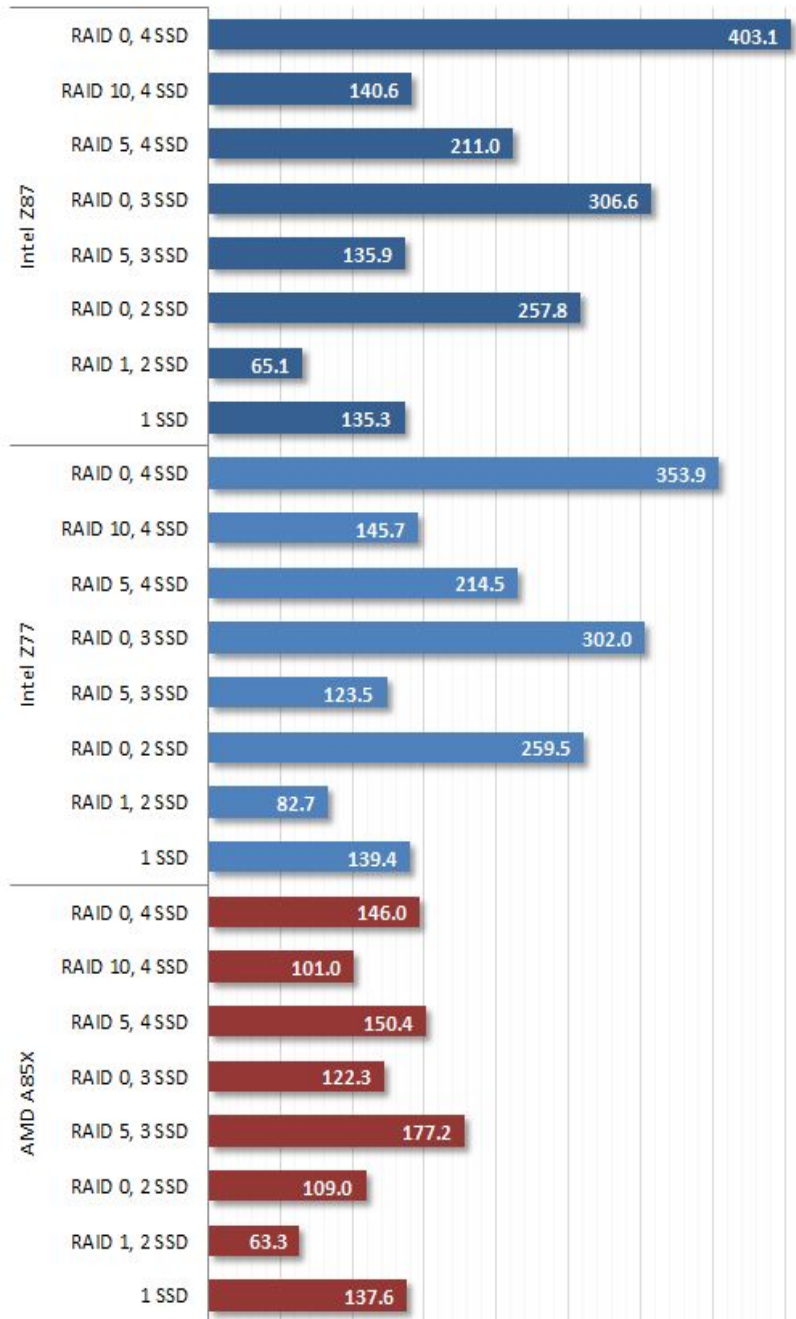
### Random Write 4K, MB/s



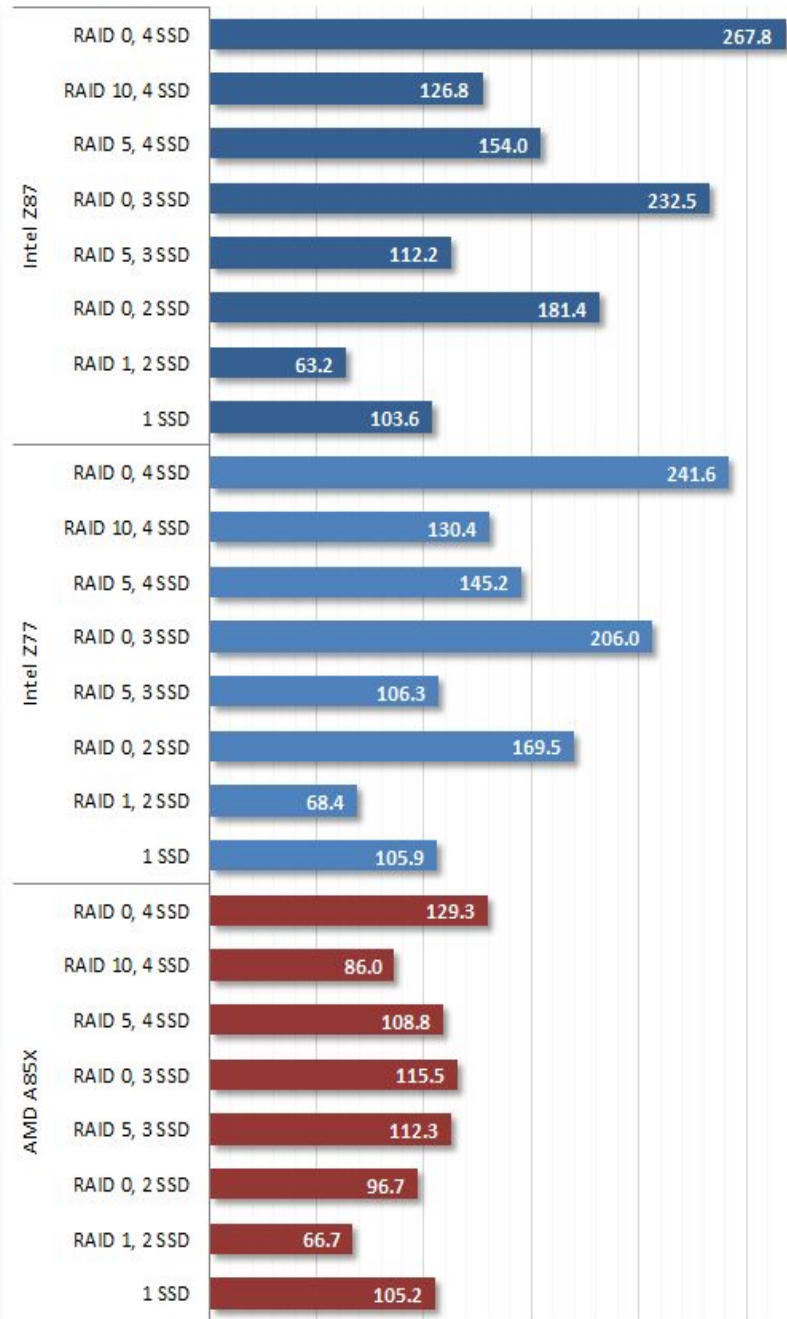
### Random Write 4K QD=4, MB/s



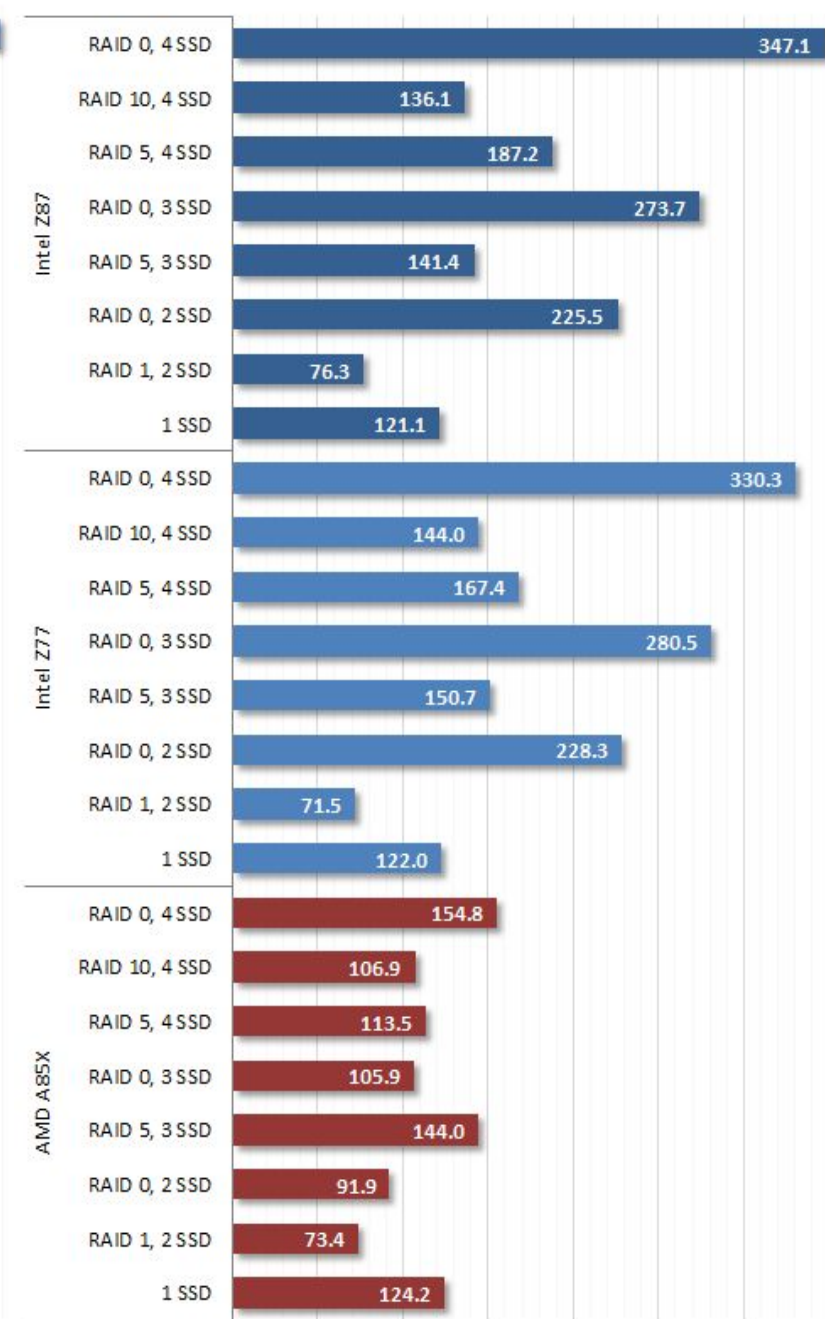
Files Copy, ISO, MB/s



Files Copy, Program, MB/s



Files Copy, Game, MB/s



Intel DC S3700	Singl e	RAID -0	Прирос т, %
CrystalMark			
Чтение Seq Q32T1, МБ/с	395	1000	+153
Чтение 4К Q32T1, МБ/с	243	543	+123
Чтение Seq, МБ/с	334	728	+118
Чтение 4К, МБ/с	31	29	-6
Запись Seq Q32T1, МБ/с	208	400	+92
Запись 4К Q32T1, МБ/с	207	396	+91
Запись Seq, МБ/с	207	399	+93
Запись 4К, МБ/с	60	79	+32
PCMark			
PCMark 7	5115	5556	+9
PCMark 7 RAW	4479	6157	+37
PCMark 8	4913	5011	+2
PCMark 8, МБ/с	209	325	+56
		Средн ий приро ст	67%

Величина прироста производительности дисковой подсистемы зависит от вида нагрузки, например: при последовательном чтении с большой глубиной очереди прирост производительности будет весьма значительным и будет соразмерен увеличению количества дисков, а запись блоками по 4 КБ плохо масштабируется и при удвоении количества дисков показывает лишь 30%-ое ускорение. То есть при создании RAID-0 массивов нужно понимать, что конечный результат сильно зависит от предполагаемой нагрузки.



## ВЫВОД:

RAID-массив на базе твердотельных накопителей можно сделать сверхбыстрым для чтения и весьма посредственным для записи. Кроме того, он будет весьма ненадежным и плохо обслуживаемым (проблема с заменой исчерпавших ресурс дисков, сложности с обновлением прошивки), не говоря уже о малом объеме и высокой стоимости.

Большинство тестов убедительно демонстрируют, что в реальных условиях массив из SSD невыгоден (один диск обеспечивает достаточно высокую производительность и не создает лишних проблем). Максимум, где может пригодиться такой RAID-массив, – там, где требуется чтение данных большого объема (превышающего емкость одного SSD), в остальных ситуациях он практически бесполезен.





# ИТОГИ SSD

## Достоинства

- Отсутствие движущихся частей, отсюда:
  - Полное отсутствие шума;
  - Высокая механическая стойкость;
- Стабильность времени считывания файлов вне зависимости от их расположения;
- Высокие скорости чтения/записи;
- Количество произвольных операций ввода-вывода в секунду (**IOPS**) у SSD на несколько порядков выше, чем у жёстких дисков.
- Низкое энергопотребление
- Широкий диапазон рабочих температур;
- Намного меньшая чувствительность к внешним электромагнитным полям;
- Малые габариты и вес.

## Недостатки

- Ограниченное количество циклов перезаписи.
- Цена гигабайта SSD-накопителей в несколько раз )выше цены гигабайта HDD
- Применение в SSD-накопителях команды TRIM может сильно осложнить или сделать невозможным восстановление удалённой информации recovery-утилитами.
- Невозможность восстановить информацию при электрических повреждениях.



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Почему накопитель называют твердотельным?
2. Что такое NOR и NAND?
3. Что лежит в основе ячеек памяти?
4. Какой тип памяти является самым дорогим?
5. Почему количество циклов перезаписей ограничено?
6. За что отвечает контроллер?
7. Зачем нужна команда TRIM?
8. Какой форм-фактор имеет наибольшую пропускную скорость?
9. Назовите производителей, которые изготавливают SSD на основе своих контроллеров;
10. Что такое NVMe?
11. Как проверить скорость накопителя при различных операциях?
12. Зачем необходимо отключать службы поиска, при установке на SSD ОС?
13. Какие проблемы вызывает RAID-массив на основе SSD?
14. В чем преимущества SSD по сравнению с HDD?
15. Для чего стоит приобретать SSD?

