

Белорусско-Российский университет
Кафедра «Программное обеспечение
информационных технологий»

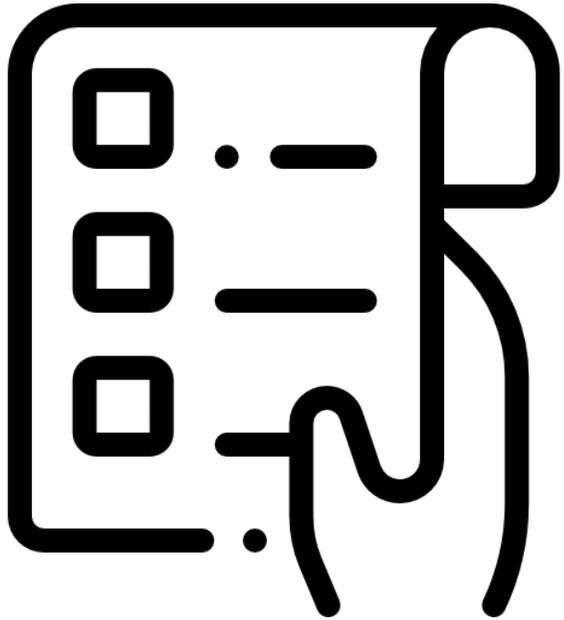
ЭВМ, периферийные устройства и контроллеры

Тема: Накопители на твердотельной памяти

Кутузов Виктор Владимирович

Республика Беларусь, Могилев, 2025





Содержание лекции

Содержание лекции

Тема: Накопители на жестких магнитных дисках

1. [Рекомендуемые материалы по теме](#)
2. [Накопители на твердотельной памяти \(НТТП, англ. SSD – Solid State Drive \(Disk\)\)](#)
3. [Принцип действия Flash-памяти](#)
4. [Типы Flash-памяти \(NOR \(Not OR – ИЛИ-НЕ\), NAND \(Not AND – И-НЕ\), Vertical NAND \(V-NAND\) - 3D NAND\)](#)
5. [Виды накопителей на твердотельной памяти \(Flash SSD\)](#)
6. [Карты памяти \(flash-карт\)](#)
7. [Карты памяти SD](#)
8. [Кардридеры \(Card reader\)](#)

Содержание лекции

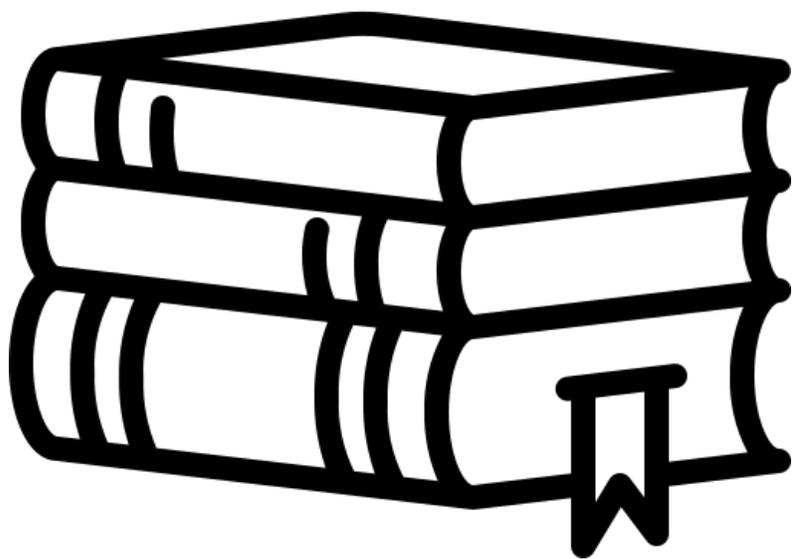
Тема: Накопители на жестких магнитных дисках

9. [USB-flash накопители](#)
10. [SSD \(solid-state drive\) или твердотельный накопитель](#)
11. [SSD. Форм фактор](#)
12. [SSD. Интерфейсы](#)
13. [Работа SSD. Запись, чтение и удаление файлов. И другие дополнительные функции контроллера SSD.](#)
14. [Характеристики \(параметры\) SSD](#)
15. [Дополнительные материалы по теме на YouTube](#)
16. [Список использованных источников](#)
17. [Список использованных источников \(YouTube\)](#)

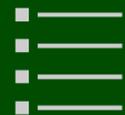
Дополнительные материалы по теме на YouTube

Тема: Накопители на жестких магнитных дисках

1. [Дополнительные материалы по теме на youtube](#)
2. [Принцип действия Flash-памяти. Как работает полупроводниковая память? Как работают твердотельные накопители?](#)
3. [Карты памяти \(flash-карты\)](#)
4. [USB-flash накопители](#)
5. [Твердотельные накопители \(Solid-State Drive, SSD\)](#)
6. [История создания, разработки SSD, Flash-памяти, карт памяти](#)
7. [Интерфейсы, форм-факторы, разъемы](#)
8. [SSD для Apple](#)
9. [Сравнение, тесты HDD и SSD](#)
10. [Тестирование, диагностика, поломки SSD](#)
11. [Производство SSD, SD-карт, Flash-накопителей, чипов памяти](#)



Рекомендуемые материалы по теме

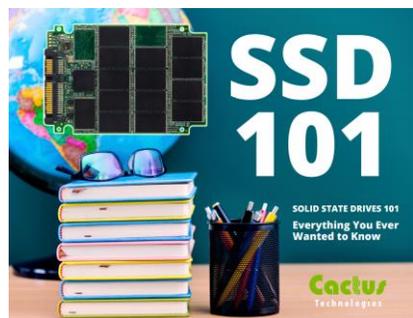


Рекомендуемая литература по теме



Периферийные устройства ЭВМ. Внешние запоминающие устройства : учебное пособие для вузов / В. М. Прудников, В. В. Кутузов. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 182 с. <https://urait.ru/bcode/556103>

**Тема 8 Накопители на твердотельной памяти.
Стр. 163 – 178**



SSD 101. SOLID STATE DRIVES 101.

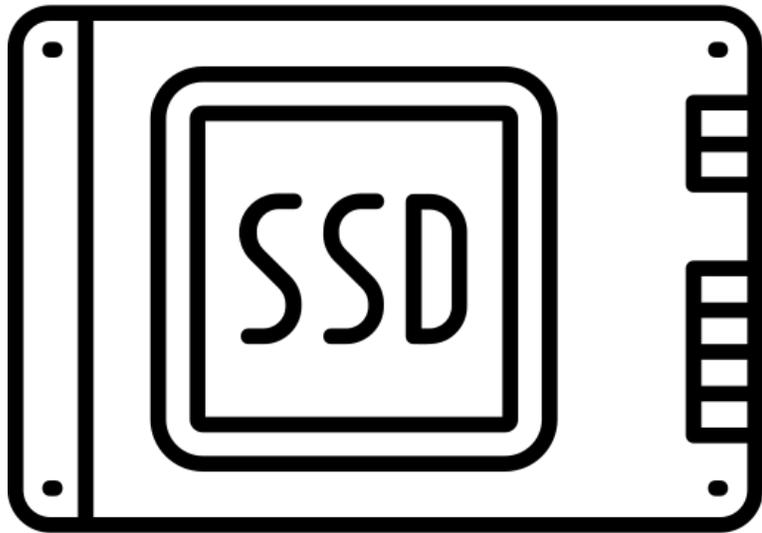
Everything You Ever Wanted to Know

(SSD. Все, что Ты когда-либо хотел знать)

<https://www.cactus-tech.com/wp-content/uploads/2019/04/Solid-State-Drives-101-EBook.pdf>

Интернет источники

- overclockers.ru \ Накопители SSD(обзор моделей)
<https://overclockers.ru/lab/ssd?offset=0&max=2000>
- thg.ru \ Накопители
<https://thg.ru/category/storage/>
- Спецификация тестирования производительности твердотельного накопителя (SSS) (PTS)
Solid State Storage (SSS) Performance Test Specification (PTS)
https://www.snia.org/tech_activities/standards/curr_standards/pts



**Накопители на
твердотельной
памяти (НТТП,
англ. *SSD* – *Solid
State Drive (Disk)*)**



Накопители на твердотельной памяти

- **Накопители на твердотельной памяти (НТТП, англ. SSD – Solid State Drive (Disk))** – энергонезависимые, перезаписываемые запоминающие устройства с прямым доступом к данным без движущихся механических частей.
- Могут изготавливаться как в встроенном (Internal, Int) исполнении, так и во внешнем (External, Ext) исполнении.
- В процессе развития НТТП разрабатывались на разных физических принципах – стираемые ультрафиолетом ПЗУ (EPROM), электрически стираемые ПЗУ (EEPROM), но в качестве ВЗУ наибольшее распространение получили НТТП на основе Flash-памяти.

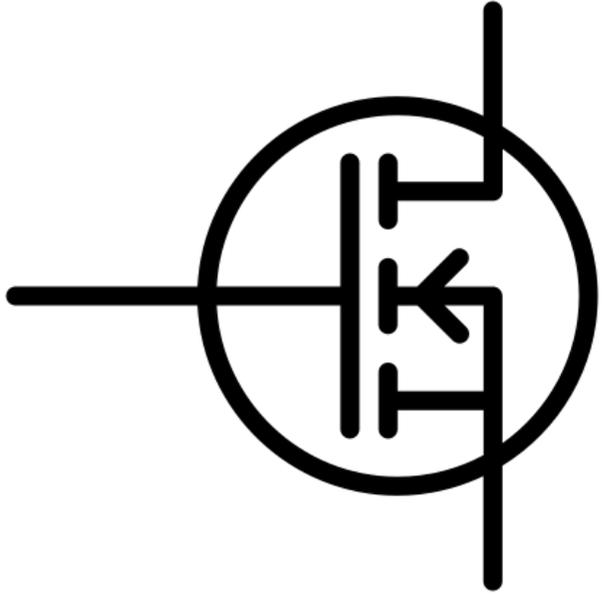
Преимущества НТТП

- **Преимущества НТТП (по сравнению с НЖМД):**
- 1. Отсутствие движущихся частей – и потому более экономичны.
- 2. Выше скорость запуска, переход Power On - Ready – 1 с.
- 3. Латентность в режиме чтения 85 мкс, в режиме записи – 115 мкс.
(т. к. отсутствует задержка по времени доступа, которая у винчестеров возникала из-за того, что для чтения данных нужно было ждать, когда провернется диск и головка дойдёт до нужного участка поверхности.)
- 4. Производительность, чтение до 550 МБ/с, запись – до 520 МБ/с.
- 5. Низкая потребляемая мощность.
- 6. Полное отсутствие шума от движущихся частей и охлаждающих вентиляторов.
- 7. Высокая механическая стойкость.
- 8. Широкий диапазон рабочих температур.
- 9. Практически устойчивое время считывания файлов вне зависимости от их расположения или фрагментации.
- 10. Малый размер и вес.
- 11. Форма и размеры могут быть очень разными, экономя внутренний объем устройств и облегчая их компоновку

Недостатки НТТП

- **Недостатки НТТП:**

- 1. Высокая удельная стоимость хранения единицы данных.
- 2. Более высокая чувствительность к некоторым эффектам, например, внезапной потере питания, магнитным и электрическим полям.
- 3. Ограниченное количество циклов перезаписи: обычная флэш-память позволяет записывать данные до 100 тыс. раз, более дорогостоящие виды памяти – до 5 млн. раз.
- 4. Радиация пагубно влияет на электроны в плавающих затворах.

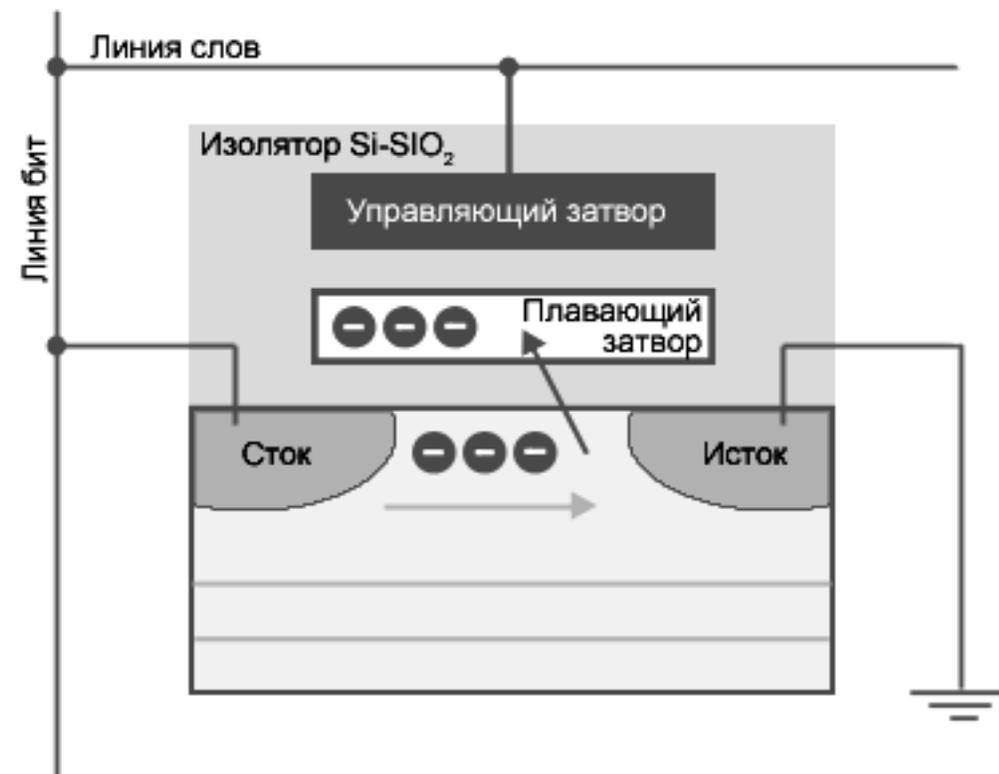


Принцип действия Flash-памяти



Принцип действия Flash-памяти

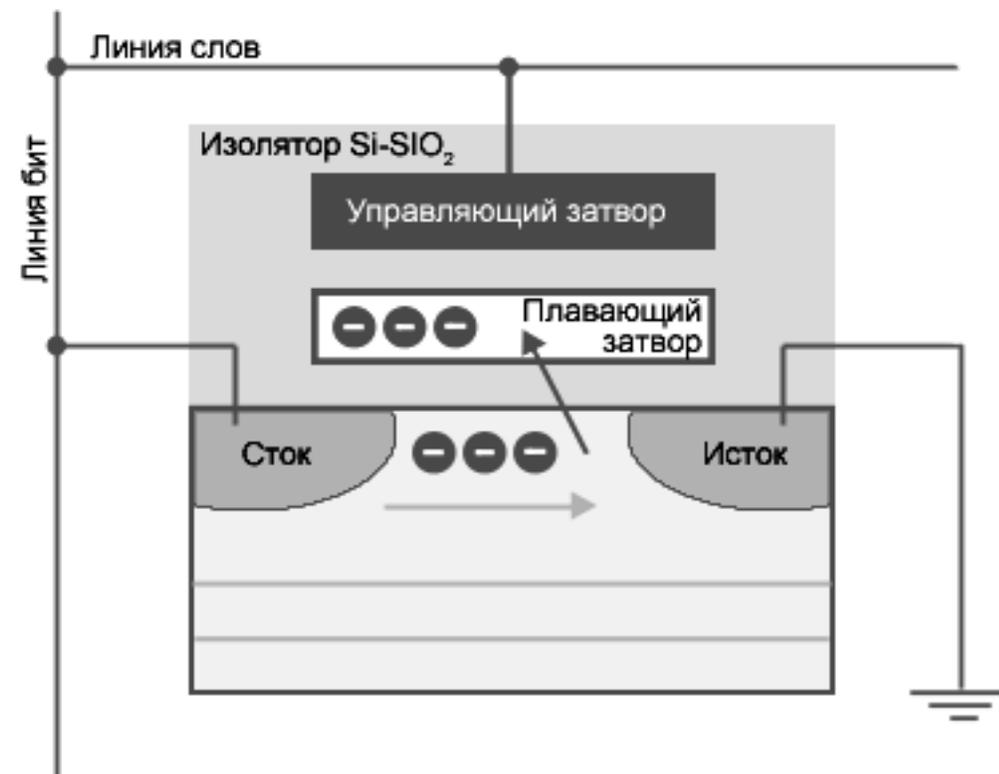
- Каждая ячейка памяти – это полевой МОП-транзистор с плавающим затвором (MOSFET), в котором хранится отрицательный заряд.
- Его отличие от обычного МОП-транзистора заключается в наличии плавающего затвора – проводника в слое диэлектрика.
- При создании разности потенциалов между стоком и истоком и наличии положительного потенциала на затворе от истока к стоку потечет ток.
- Однако, при наличии достаточно большой разности потенциалов некоторые электроны «пробивают» слой диэлектрика и оказываются в плавающем затворе.
- Это явление называется **туннельный эффект**.



Конструкция элемента Flash-памяти (полевой МОП-транзистор с плавающим затвором (MOSFET))

Принцип действия Flash-памяти

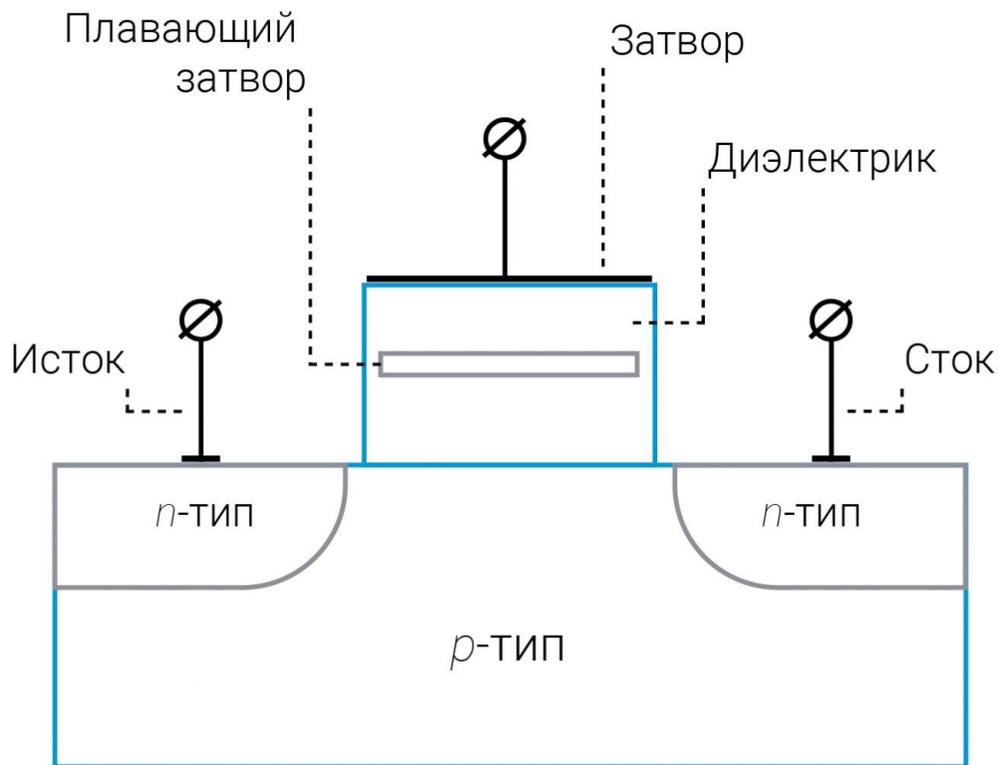
- Отрицательно заряженный плавающий затвор создает электрическое поле, мешающее протеканию тока от истока к стоку. Более того, наличие электронов в плавающем затворе увеличивает пороговое напряжение, при котором открывается транзистор. При каждой «записи» в плавающий затвор транзистора слой диэлектрика незначительно повреждается, что накладывает ограничение на количество циклов перезаписи каждой ячейки.
- Изменение порогового напряжения позволяет «программировать» транзисторы. Транзисторы с зарядом в плавающем затворе не откроются при подаче на затвор напряжения больше порогового напряжения для транзистора без электронов, но меньше порогового напряжения для транзистора с электронами. Такое значение называют **напряжением чтения**.



Конструкция элемента Flash-памяти (полевой МОП-транзистор с плавающим затвором (MOSFET))

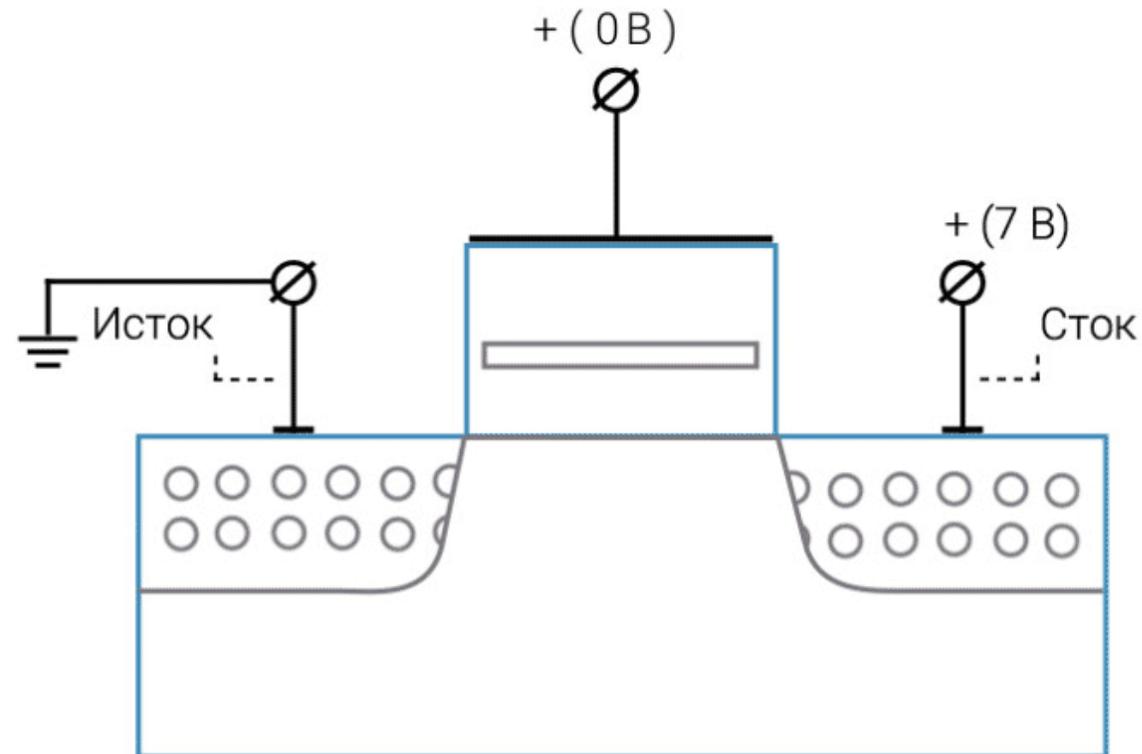
Устройство MOSFET-транзистора

Транзистор с плавающим затвором



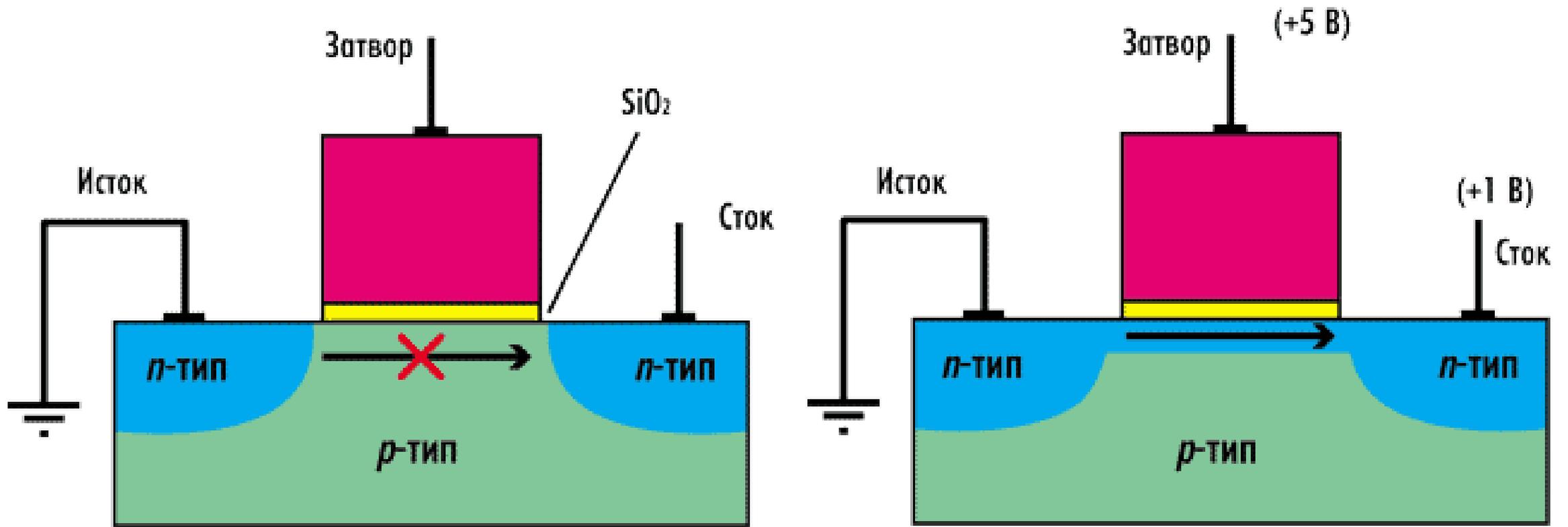
Selectel

Перенос заряда в плавающий затвор



Selectel

Устройство MOSFET-транзистора (открытое и закрытое состояние)



В обычном состоянии нет канала проводимости (соответствует логическому нулю)

При приложении к затвору и стоку положительного напряжения образуется канал проводимости (соответствует логической единице)

Устройство транзистора с плавающим затвором и чтение содержимого ячейки памяти

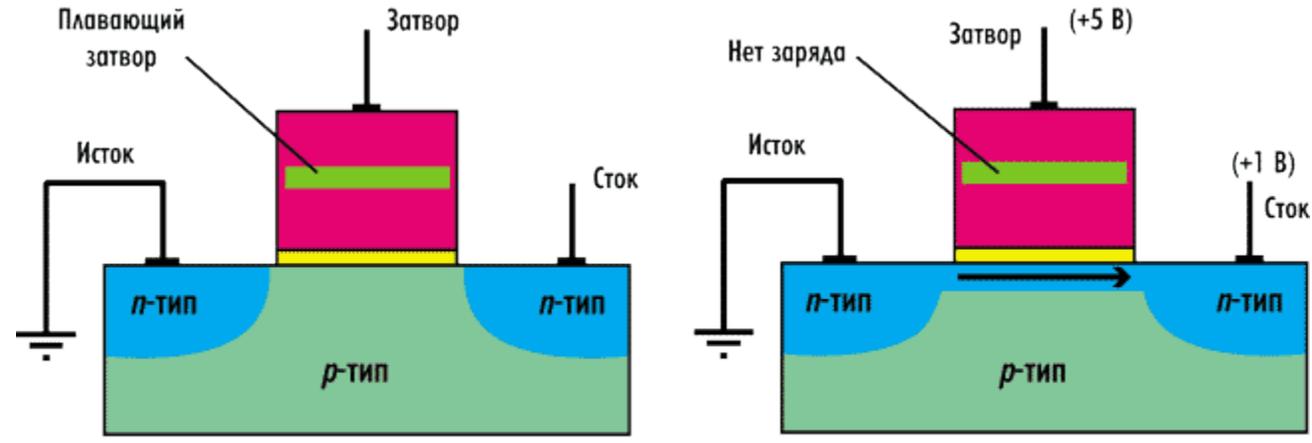
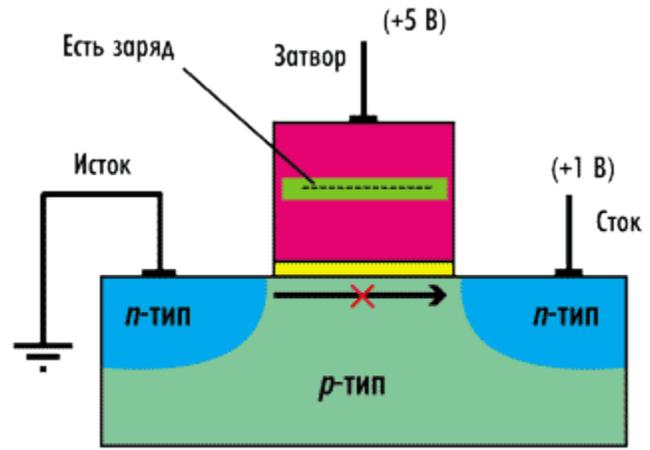


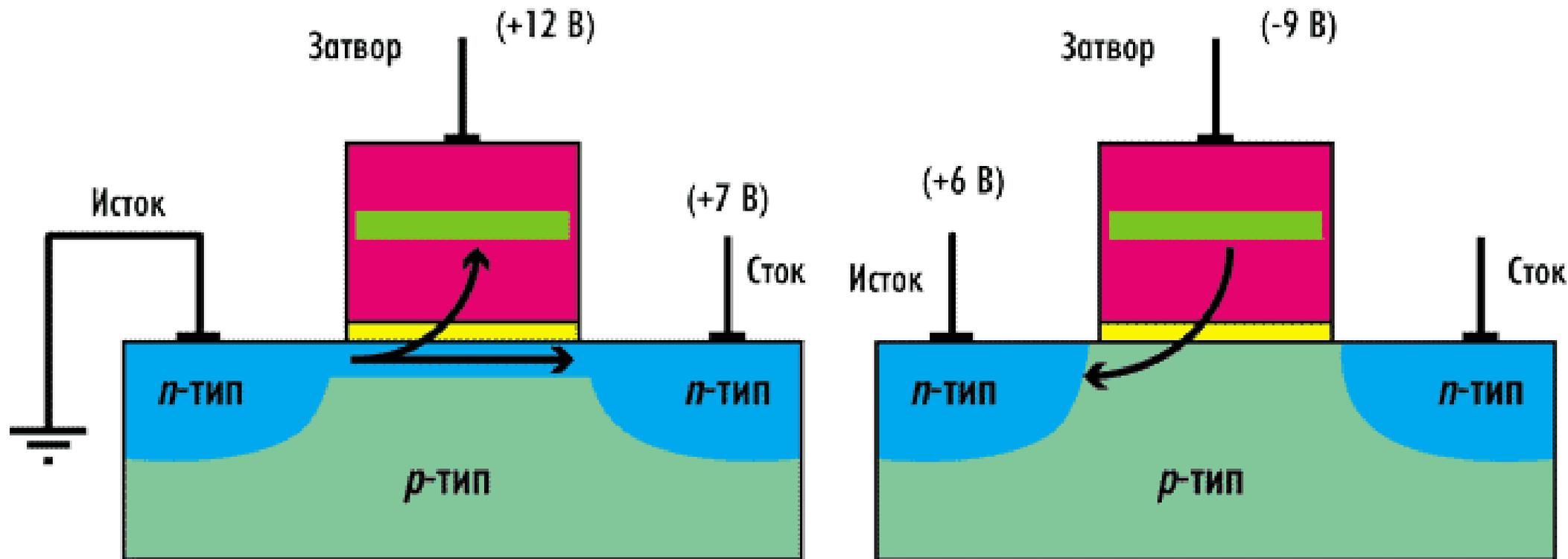
Схема MOSFET-транзистора с плавающим затвором

При отсутствии заряда на плавающем затворе ведет себя как обычный MOSFET-транзистор



При наличии заряда на плавающем затворе нет канала проводимости даже при подаче напряжения на управляющий затвор

Процесс записи и стирания информационного бита в транзистор с плавающим затвором



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

Ячейки Flash-памяти

- Разработаны ячейки Flash-памяти (англ. cell) следующих **ВИДОВ** которые используются в 99% накопителей:

- **одноуровневые ячейки SLC** (англ. Single-Level Cell),
- **многоуровневые ячейки MLC** (англ. Multi-Level Cell),
- **трёхуровневые ячейки TLC** (англ. Triple-Level Cell),
- **четырёхуровневые ячейки QLC** (англ. Quad-Level Cell).
- **3D NAND**

1	11	111	1111
		110	1110
	10	101	1101
		100	1100
0	01	011	1011
		010	1010
	00	001	1001
		000	1000
SLC	MLC	TLC	QLC

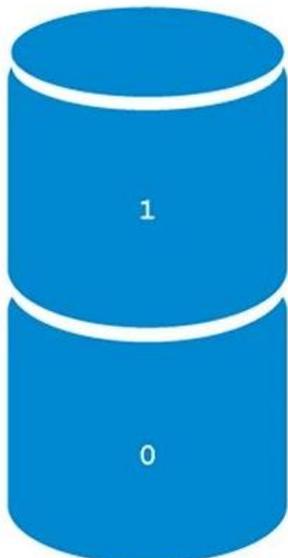
Сравнение видов ячеек Flash-памяти

Ячейки Flash-памяти



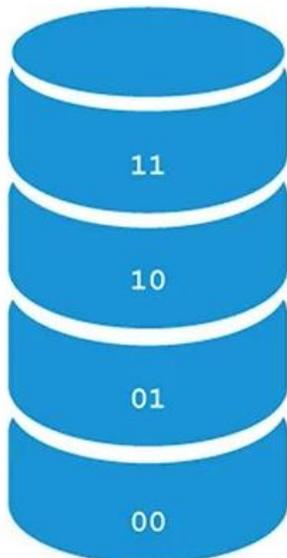
Стоимость за 1ГБ

SLC



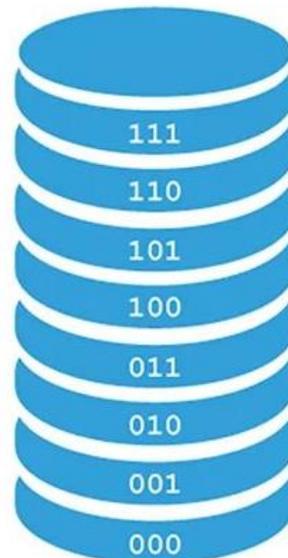
1 Bit
в ячейке
100.000
(циклов перезаписи)

MLC



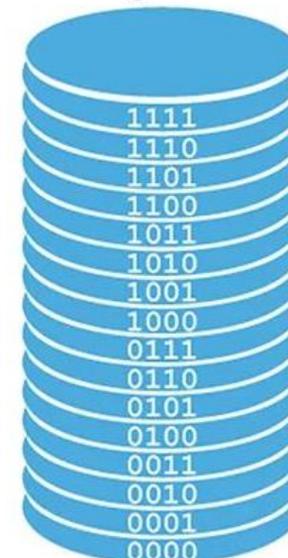
2 Bit
в ячейке
10.000
(циклов перезаписи)

TLC



3 Bit
в ячейке
3.000
(циклов перезаписи)

QLC



4 Bit
в ячейке
1.000
(циклов перезаписи)



Количество циклов перезаписи

Ячейки Flash-памяти

1	11	111	1111	11111
		110	1110	11110
		1101	1101	11101
	10	101	1100	11011
		1010	1011	11010
		10101	1010	11001
0	01	100	1001	10011
		1000	1000	10010
		10001	10000	10001
	00	011	0111	10000
		0110	0110	01111
		01101	0110	01110
0	01	010	0101	01101
		01010	0101	01100
		010101	01010	01011
	00	0100	0100	01010
		01000	0100	01001
		010000	01000	01000
0	00	001	0011	00111
		0010	0010	00110
		00101	0010	00101
	000	000	0001	00100
		0000	0001	00011
		00000	0000	00010
SLC	MLC	TLC	QLC	PLC

Новые технологии:

PLC (Penta-Level Cell) - находится в разработке

- тип ячейки памяти, хранящей 5 бит информации
- Определяет количество уровней заряда в одной ячейке (32 уровня)
- Является развитием линейки SLC->MLC->TLC->QLC
- Может быть реализован как в 2D, так и в 3D структуре
- PLC является частью более широкой технологии 3D NAND, а не синонимом ей. Все PLC — это 3D NAND, но не вся 3D NAND использует архитектуру PLC.
- Первые коммерческие продукты ожидаются не ранее 2026 года

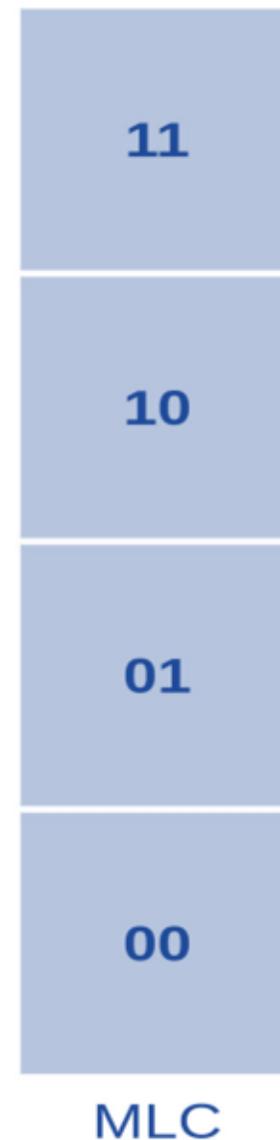
Ячейки Flash-памяти. SLC NAND

- **SLC** – изначально каждый транзистор хранил два уровня заряда: логический ноль и логическую единицу. Такой подход называется Single-Level Cell (SLC). Накопители с такой технологией отличаются высокой надежностью и максимальным количеством циклов перезаписи.
- **Преимущества: Высочайший ресурс — Недостатки: Высокая стоимость и низкая емкость**
- **NAND-память в одноуровневыми ячейками (SLC) хранит только 1 бит информации на ячейку.** В ячейке хранится либо 0, либо 1, и в результате запись и извлечение данных может выполняться быстрее. SLC обеспечивает самую высокую производительность и ресурс: 100 000 циклов P/E То есть такая память служит дольше других типов NAND-памяти. Однако из-за низкой плотности размещения данных SLC является самым дорогим типом NAND-памяти и поэтому обычно не используется в потребительской продукции. Ее типичные области применения — серверы и другое промышленное оборудование, требующее высокой скорости и долговечности.



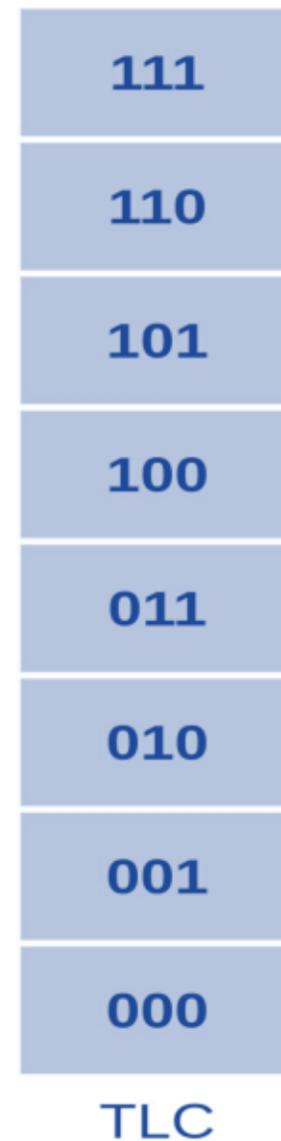
Ячейки Flash-памяти. MLC NAND

- **MLC** – самый распространенный вариант, который пришел на замену устаревшему SLC (уже почти не встречается). Обладает самым высоким ресурсом записи по сравнению со своими аналогами. Обычно таких устройств хватает лет на 5-10. MLC также является самым дорогостоящим вариантом.
- **Преимущества: Дешевле памяти SLC**
- **Недостатки: Быстродействие и ресурс ниже по сравнению с SLC**
- **Технология NAND-памяти с многоуровневыми ячейками (MLC) хранит несколько битов на ячейку, хотя термин MLC обычно относится к 2 битам на ячейку.** MLC имеет более высокую плотность размещения данных по сравнению с SLC, поэтому позволяет создавать носители большей емкости. Память MLC отличается хорошим сочетанием цены, производительности и долговечности. Однако память MLC, обеспечивающая 10 000 циклов P/E более чувствительна к ошибкам данных и имеет меньший ресурс по сравнению с SLC. Память MLC обычно используется в потребительской продукции, где долговечность не столь важна.



Ячейки Flash-памяти. TLC NAND

- **TLC** – стандарт, который пришел на замену MLC в качестве дешевого аналога. В нем увеличилась плотность хранения данных, в результате чего уменьшилось время выработки на отказ (в 2-5 раз меньше, чем у MLC). Также снизилась и скорость обработки данных. Единственный плюс этого типа – низкая стоимость. В остальном MLC намного надежнее и практичнее.
- **Преимущества: Наименьшая цена и высокая емкость**
- **Недостатки: Низкая долговечность**
- **NAND-память с трехуровневыми ячейками (TLC) хранит 3 бита на ячейку.** За счет увеличения числа битов на ячейку снижается цена и увеличивается емкость. Однако это отрицательно сказывается на производительности и ресурсе (всего 3000 циклов P/E). Во многих потребительских изделиях используется память TLC как самый дешевый вариант.



Ячейки Flash-памяти. TLC NAND

- **QLC (Quad-Level Cell)** – предназначен для ещё большего удешевления накопителя.
- QLC хранит четыре бита информации в одной ячейке памяти, используя четыре различных уровня напряжения для кодирования данных. Это достигается за счёт более тонкой градации уровней напряжения, что увеличивает плотность хранения данных, но усложняет процесс чтения и записи.
- Скорость и ресурс записи QLC ещё ниже, чем у TLC.
- QLC имеет наименьшую долговечность среди распространённых технологий ячеек, так как более тонкая градация уровней напряжения делает ячейки более чувствительными к износу. Количество циклов перезаписи значительно меньше, чем у TLC.
- QLC обычно имеет самую низкую стоимость за гигабайт среди всех типов ячеек флэш-памяти.

1111
1110
1101
1100
1011
1010
1001
1000
0111
0110
0101
0100
0011
0010
0001
0000

QLC

Ячейки Flash-памяти. TLC NAND

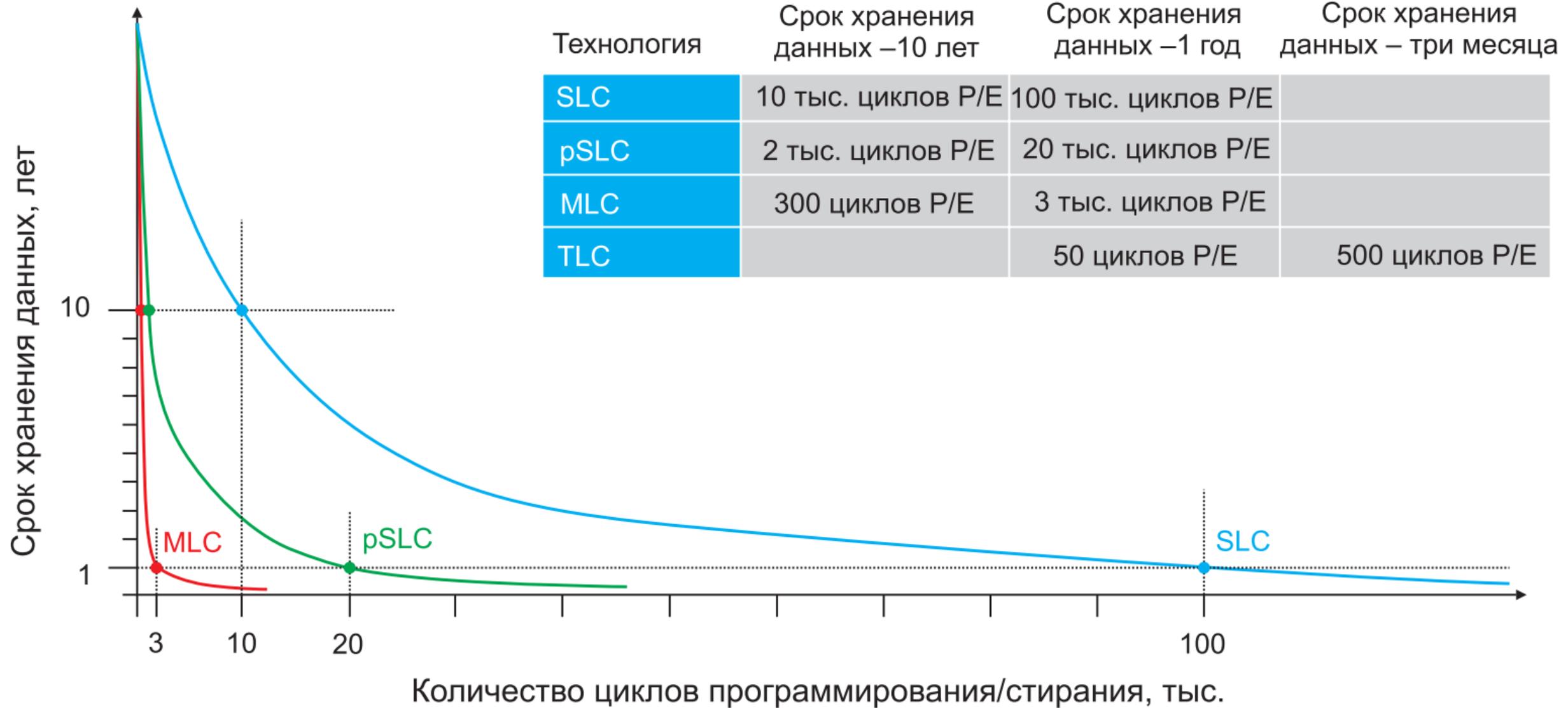
- **PLC (Plane-Level Cell):**

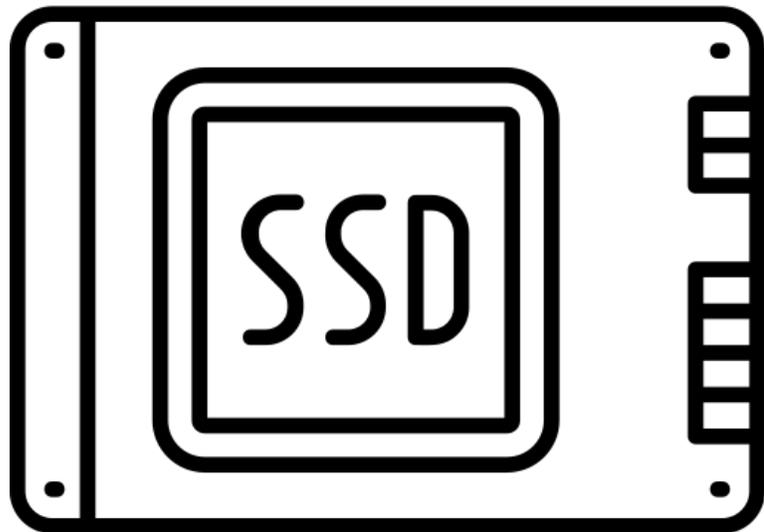
- В PLC каждая ячейка памяти хранит информацию на одном уровне (plane) 3D NAND чипа. Это упрощает управление и доступ к данным, но не увеличивает количество уровней хранения информации в одной ячейке. **Ключевое отличие PLC от других архитектур заключается в организации доступа к ячейкам внутри слоёв 3D NAND.** Вместо того, чтобы иметь отдельные транзисторы для каждой ячейки, PLC использует более эффективную схему, что позволяет увеличить плотность памяти. Однако, это не меняет количество битов, хранимых в одной физической ячейке.
- PLC не увеличивает плотность хранения данных в одной ячейке, по сравнению с, например, TLC. **Увеличение плотности достигается за счёт оптимизации структуры чипа и организации доступа к ячейкам внутри слоёв.**
- PLC обычно демонстрирует хорошую скорость чтения и записи благодаря относительно простой архитектуре.
- Долговечность зависит от общего количества циклов перезаписи, как и у других типов ячеек.
- Стоимость производства может быть несколько ниже, чем у более сложных архитектур, при равной плотности.

11111
11110
11101
11100
11011
11010
11001
11000
10111
10110
10101
10100
10011
10010
10001
10000
01111
01110
01101
01100
01011
01010
01001
01000
00111
00110
00101
00100
00011
00010
00001
00000

PLC

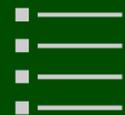
Сравнение сроков службы ячеек, изготовленных по технологиям SLC, pSLC и MLC





Типы Flash-памяти

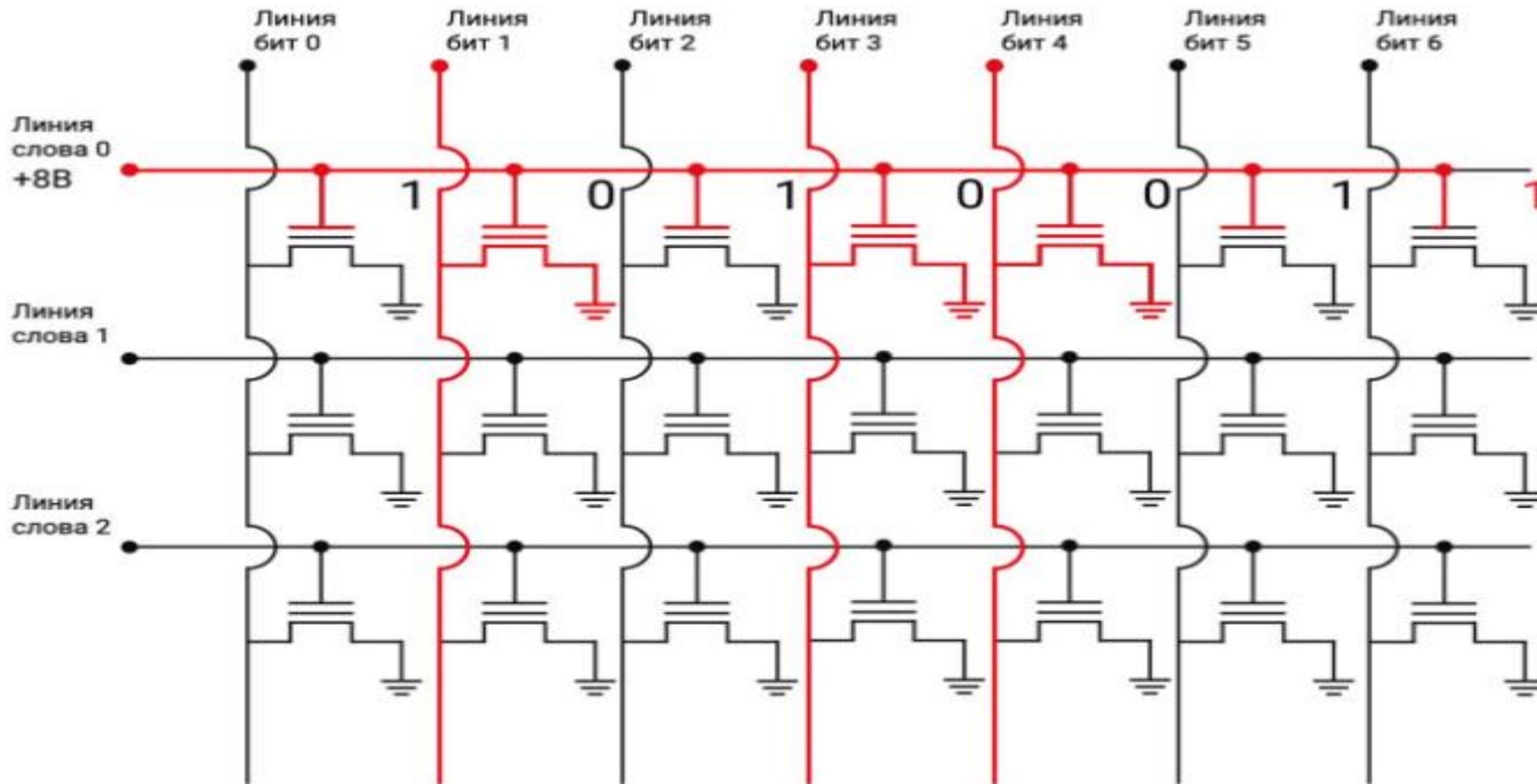
- NOR (Not OR – ИЛИ-НЕ)
- NAND (Not AND – И-НЕ)
- Vertical NAND (V-NAND)
- 3D NAND



Типы Flash-памяти

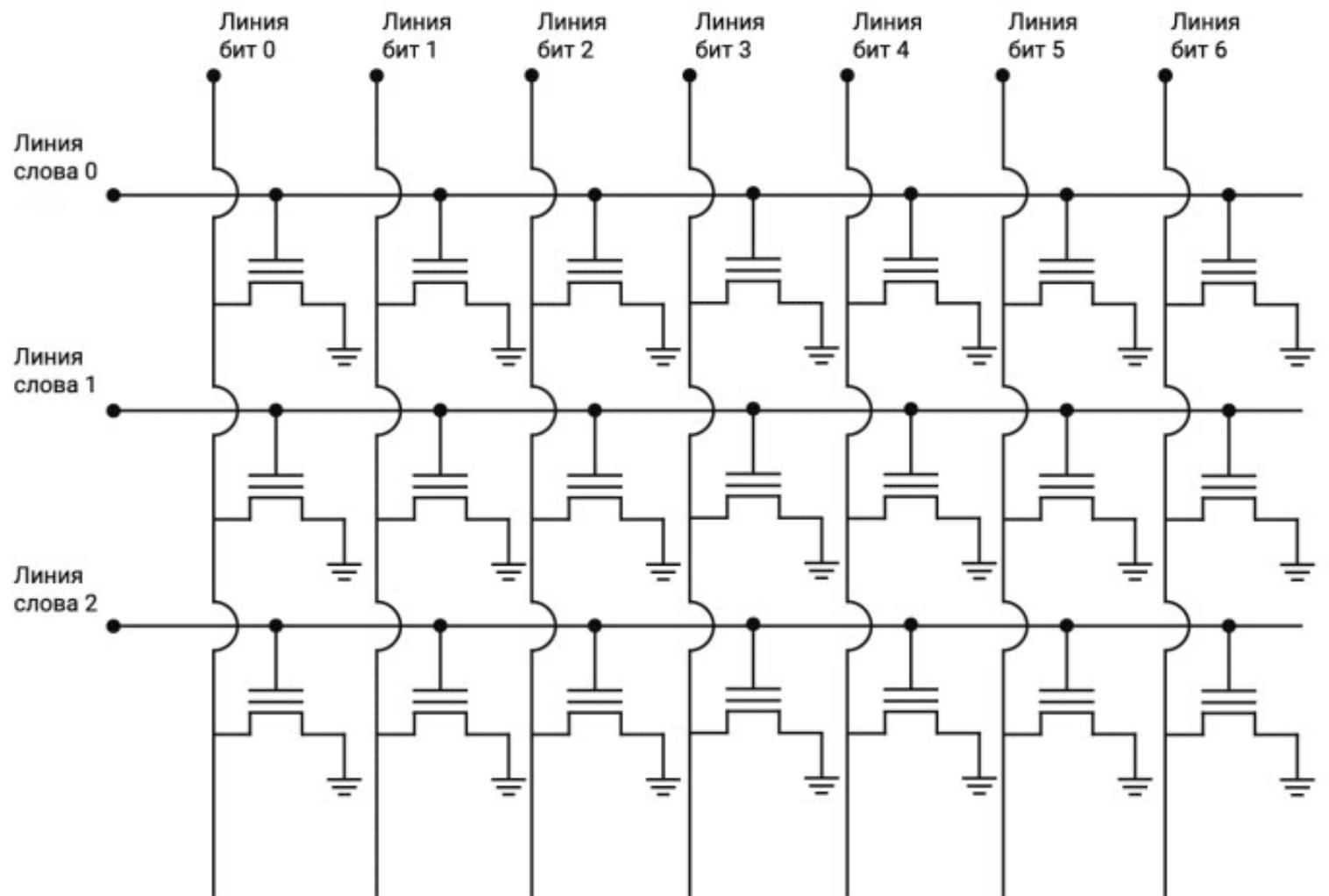
- Типы Flash-памяти определяют принципы соединения ячеек между собой, что отражает довольно существенную разницу и в устройстве, и в функционировании модулей памяти.
- **Первая разработка получила название Flash-память типа NOR и основана на полевых МОП-транзисторах с плавающим затвором.**
- **Flash-память типа NOR (Not OR – ИЛИ-НЕ)** – это двухмерный массив транзисторов. Затворы транзисторов подключены к линии слов, а стоки – на линию битов. Для чтения данных при подаче напряжения на линию слов транзисторы, содержащие электроны, то есть хранящие «единицу», не откроются и ток не потечет. По наличию или отсутствию тока на линии бита делается вывод о значении бита.

Flash-память типа NOR (Not OR – ИЛИ-НЕ)



Чтение из NOR-памяти

Чтение из NOR-памяти



Selectel

Flash-память типа NOR (Not OR – ИЛИ-НЕ)

- **Особенности Flash-памяти типа NOR:**

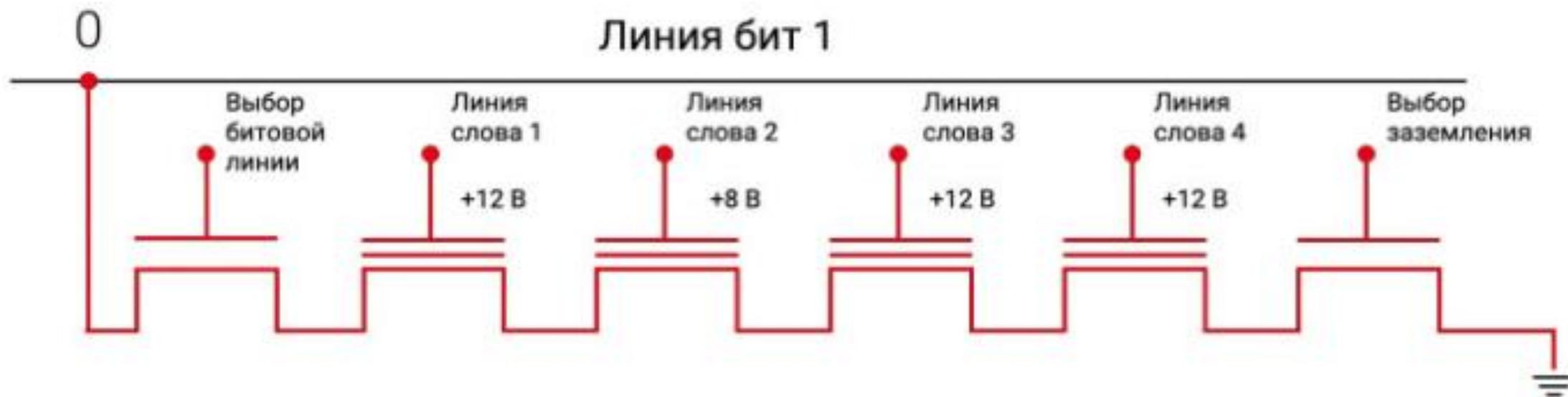
- возможность очень быстрого считывания (в том числе, на выбор, любого бита или байта!),
- низкая скорость записи

- **Применение:** когда требуется быстрое выборочное чтение, а акты перезаписи сравнительно редки – в микросхемах BIOS, SIM-картах, встроенной памяти микроконтроллеров и т. п.

Flash-память типа NAND (Not AND – И-НЕ)

- **Flash-память типа NAND (Not AND – И-НЕ)** отличается количеством транзисторов на битовой линии. В памяти типа NOR каждый транзистор напрямую подключен к битовой линии, в то время как в NAND-памяти транзисторы подключены последовательно. Изобретение Flash-памяти типа NAND позволило значительно уплотнять схему, размещая больший объем памяти при тех же размерах.
- **Чтение из памяти такой конфигурации сложнее:** на требуемую линию слова подается напряжение, необходимое для чтения, а на все остальные линии слова подается напряжение, которое открывает транзистор вне зависимости от уровня заряда в нем. Так как все остальные транзисторы гарантированно открыты, то наличие напряжения на битовой линии зависит только от одного транзистора, на которое подано напряжение чтения.

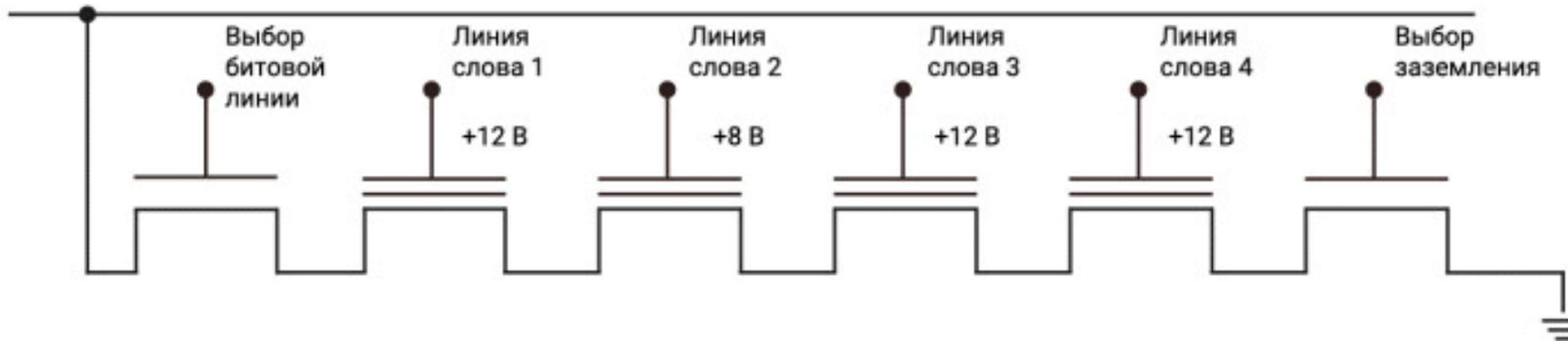
Flash-память типа NAND (Not AND – И-НЕ)



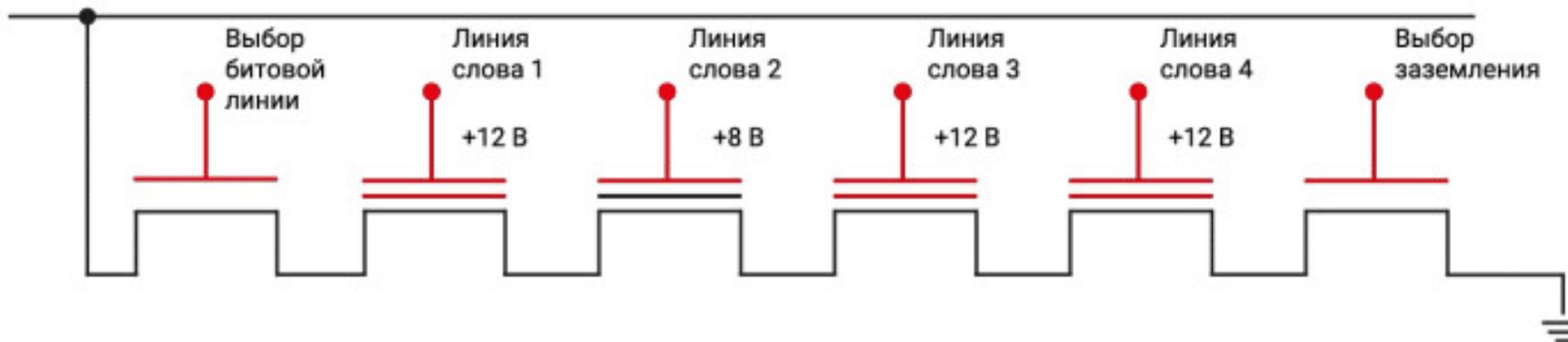
Чтение из NAND-памяти

Чтение из NAND-памяти

Линия бит 1



Линия бит 2



Selectel

Flash-память типа NAND (Not AND – И-НЕ)

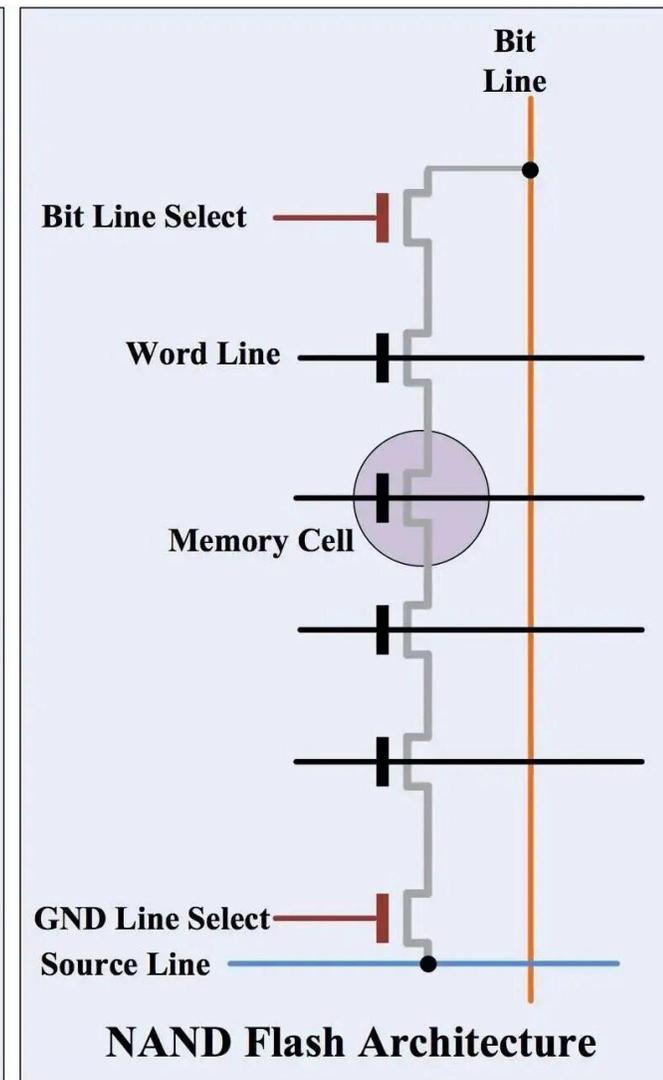
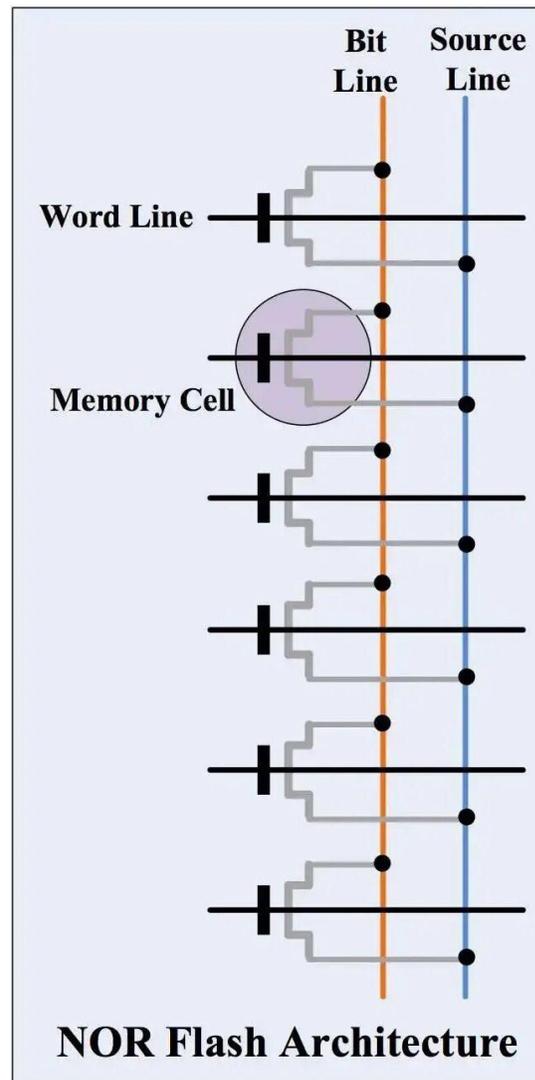
- **Особенности Flash-памяти типа NAND:**

- проще производство;
- занимает заметно меньше места, чем NOR.

- **Применение:** построение систем хранения файлов. Практически все современные накопители на flash-памяти, основным назначением которых и является хранение больших массивов данных, построены на флэш-памяти типа NAND.
- При чтении таких массивов первое обращение – довольно долгое (по сравнению с NOR), а вот далее данные идут широким потоком, почти не прерываясь.

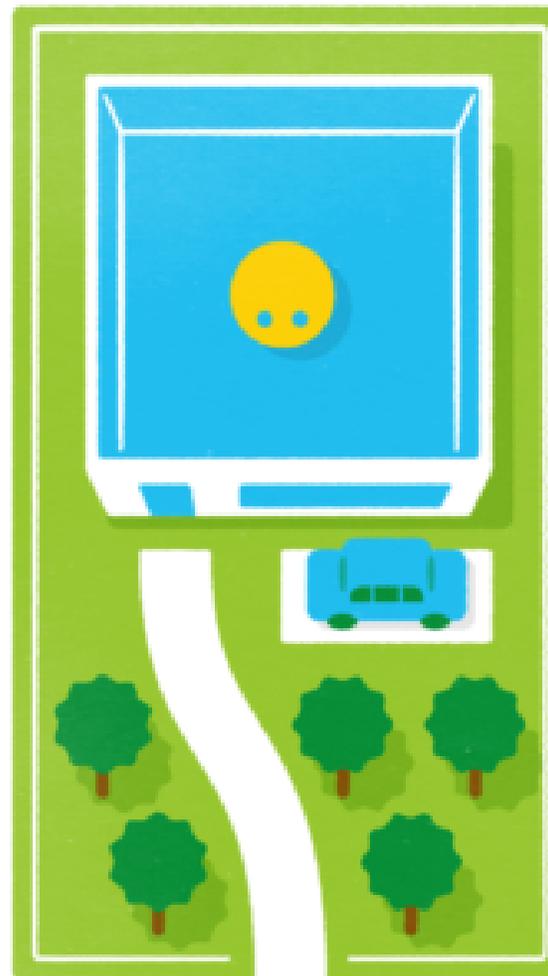
NOR и NAND

- **NOR** – организация ячеек флэш-памяти по принципу логической функции «ИЛИ-НЕ»: индивидуальный доступ к каждому биту и большая скорость чтения, но и большие размеры ячейки и малое быстродействие при записи.
- **NAND** – организация ячеек по принципу логической функции «И-НЕ»: высокое быстродействие при записи и компактность, но чтение и запись данных – только блоками.

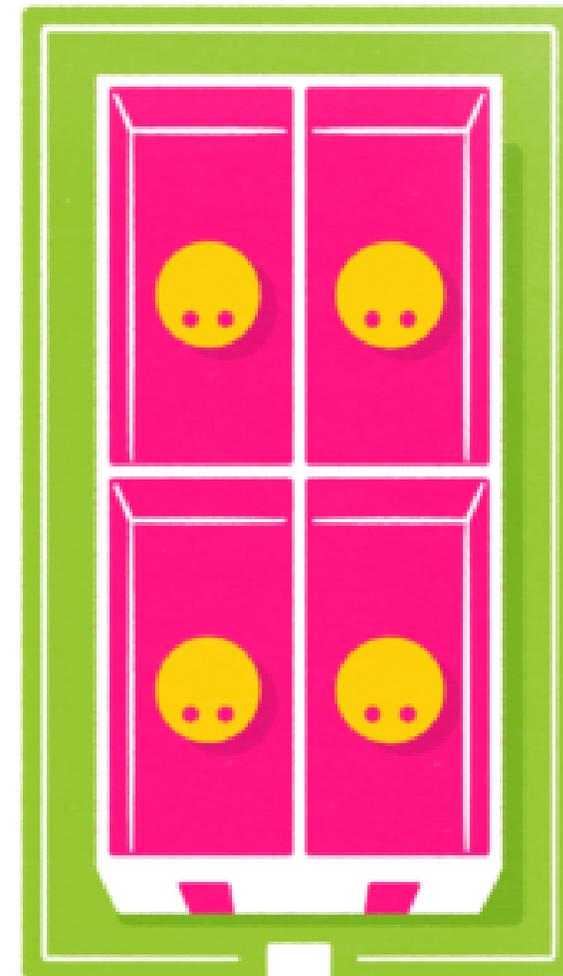


NOR и NAND

- **NAND-память — интересная штука. Её можно сравнить с оптовыми закупками в супермаркете.** Считывать и подавать напряжение в NAND ты можешь только на целую упаковку ячеек. Поэтому мы не можем считать или записать данные в какую-то конкретную ячейку.
- **В NOR памяти всё наоборот, у нас есть доступ каждой ячейке.**
- Вроде бы как очевидно превосходство NOR, но почему же тогда мы используем NAND?
- **Дело в том, что в NOR-памяти каждую ячейку нам надо подключить отдельно.** Всё это делает размер ячеек большим, а конструкцию массивной.
- **В NAND наоборот: ячейки подключаются последовательно друг за другом и это позволяет сделать ячейки маленькими и расположить их плотно друг к другу.** Поэтому на NAND-чипе может поместиться в 16 раз больше данных чем на NOR-чипе.

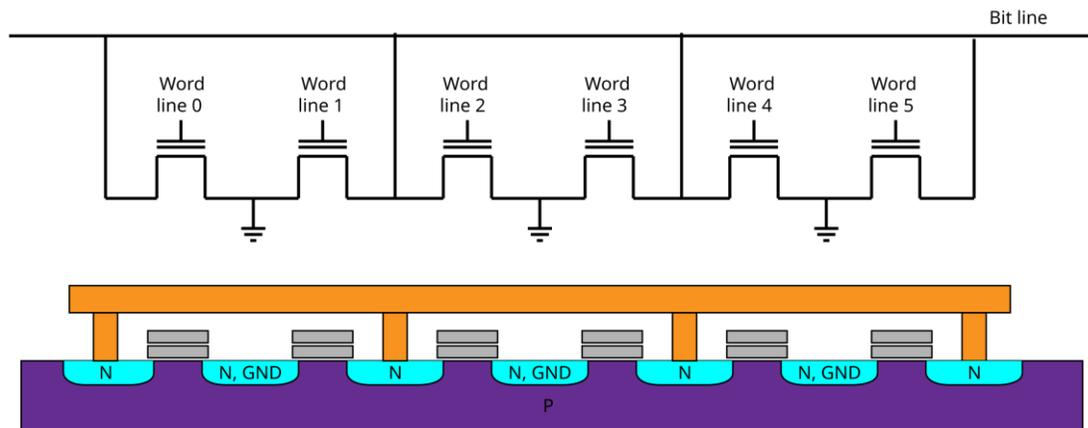


NOR

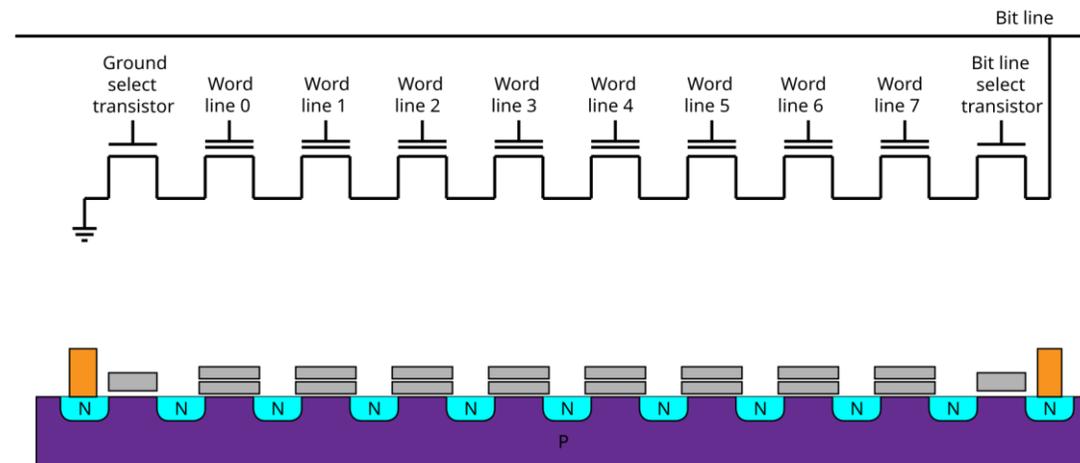


NAND

NOR и NAND



Компоновка шести ячеек **NOR** flash

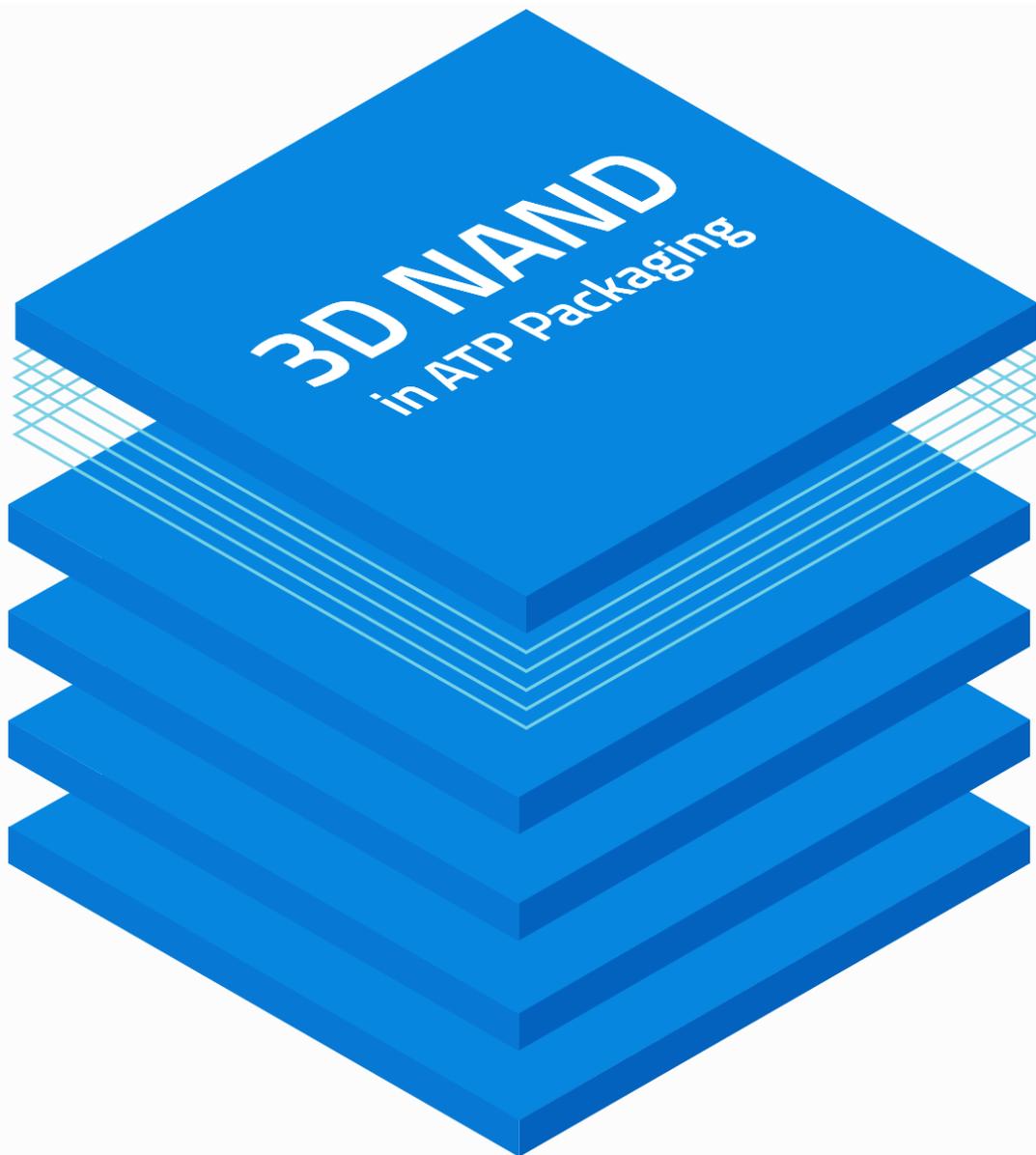


Структура одного столбца **NAND** flash с 8 ячейками

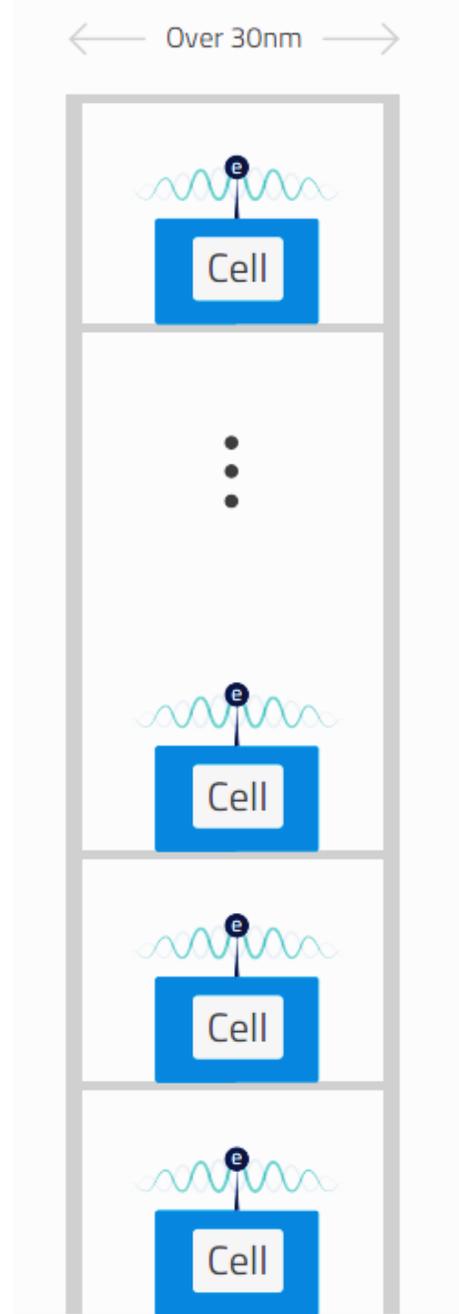
NOR и NAND

	NAND	NOR
Cell Array & Size	<p>Word line</p> <p>Unit Cell</p> <p>Source line</p> <p>$2F$</p> <p>$2.5F$</p> <p>$5F^2$</p>	<p>Word line</p> <p>Bit line</p> <p>Contact</p> <p>Unit Cell</p> <p>Source line</p> <p>$2F$</p> <p>$5F$</p> <p>$10F^2$</p>
Cross-section		
Features	<p>Small Cell Size, High Density</p> <p>Low Power & Good Endurance</p> <p>→ <i>Mass Storage</i></p>	<p>Large Cell Current,</p> <p>Fast Random Access</p> <p>→ <i>Code Storage</i></p>

3D NAND



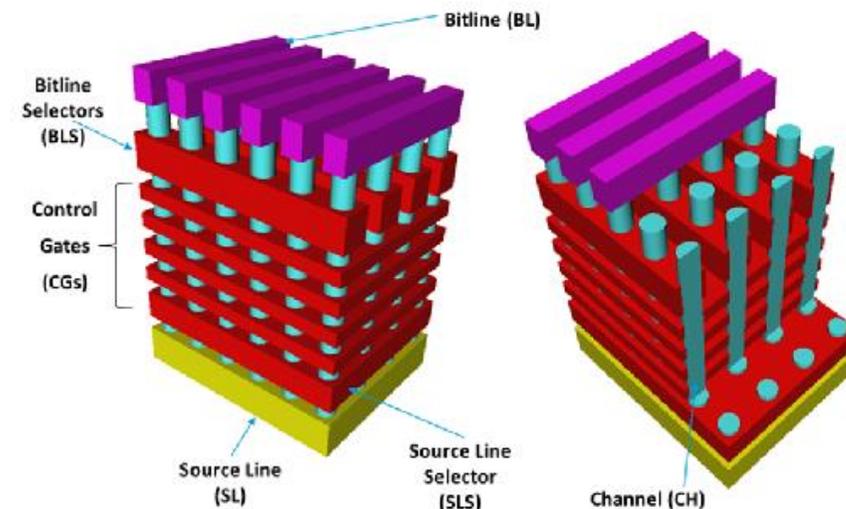
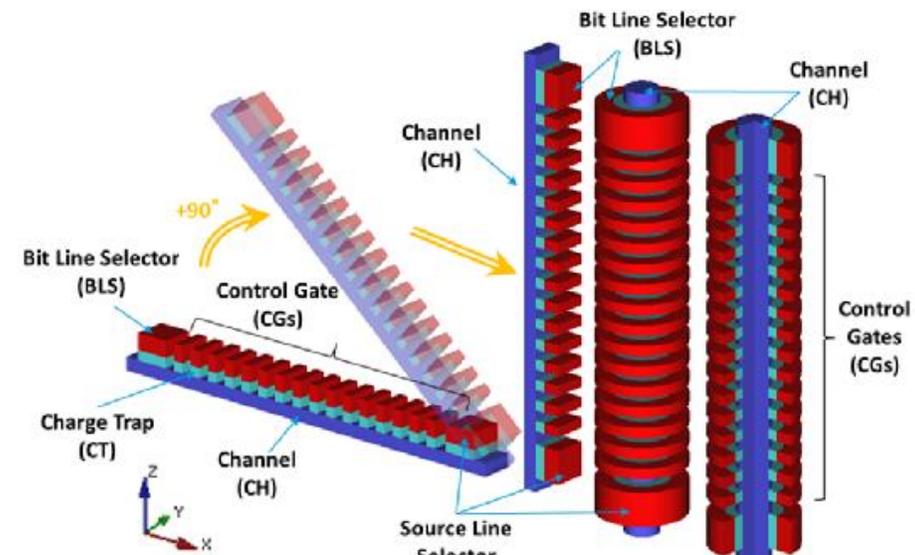
- **3D NAND - это вертикальную укладку ячеек памяти.**
- Этот метод укладки увеличивает емкость в каждом направлении без необходимости сокращать размер ячейки.



Vertical NAND (V-NAND) - 3D NAND

- Сначала объем памяти увеличивали путем уменьшения производственного техпроцесса чипа.
- Затем разработали новую версию NAND-памяти: **Vertical NAND (V-NAND)**, более известную как **3D NAND**. В этой технологии делается акцент на **размещение транзисторов в несколько слоев**, что вновь позволяет уплотнить схему и увеличить объем памяти.

Comparison Between 2D and 3D NAND



Vertical NAND (V-NAND) - 3D NAND

- **Vertical NAND (V-NAND)**, также известная как **3D NAND**, представляет собой технологию флэш-памяти, которая значительно увеличивает плотность хранения данных по сравнению с традиционной 2D NAND.
- **Вместо того чтобы располагать ячейки памяти на плоской поверхности, V-NAND "укладывает" их в вертикальном направлении, создавая многоуровневую структуру.** Это позволяет разместить больше ячеек на той же площади кремниевой пластины.
- **В V-NAND ячейки памяти (обычно NAND-ячейки) организованы в стопки, называемые "strings" или "bit lines".** Эти стопки соединены вертикальными проводниками, что позволяет записывать и считывать данные из каждой ячейки независимо. Количество слоев (layers) в таких структурах постоянно увеличивается, что приводит к росту плотности хранения.

Vertical NAND (V-NAND) - 3D NAND

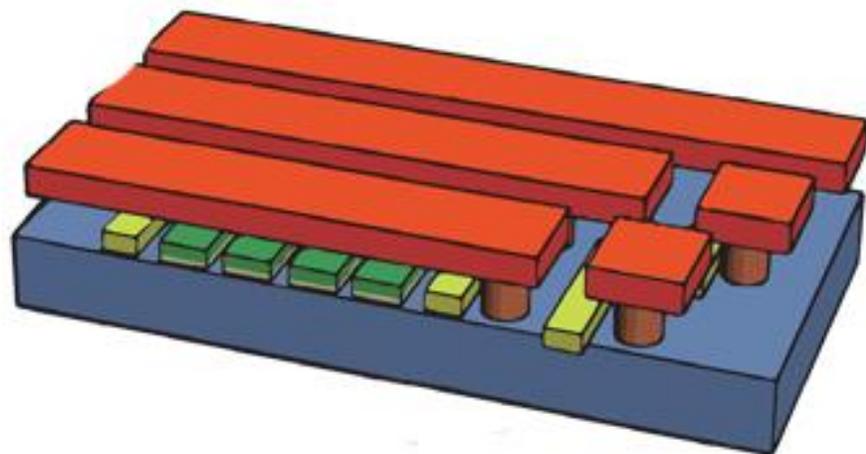
• Преимущества V-NAND:

- **Высокая плотность:** Ключевое преимущество V-NAND – значительно большая плотность хранения данных по сравнению с 2D NAND. Это позволяет создавать накопители большой емкости при меньших размерах и стоимости.
- **Улучшенная производительность:** Хотя доступ к отдельным ячейкам может быть немного медленнее, чем в 2D NAND, общая производительность часто выше благодаря увеличенной параллельности операций чтения/записи.
- **Повышенная надежность:** Более равномерное распределение износа (wear leveling) может улучшить долговечность накопителя.

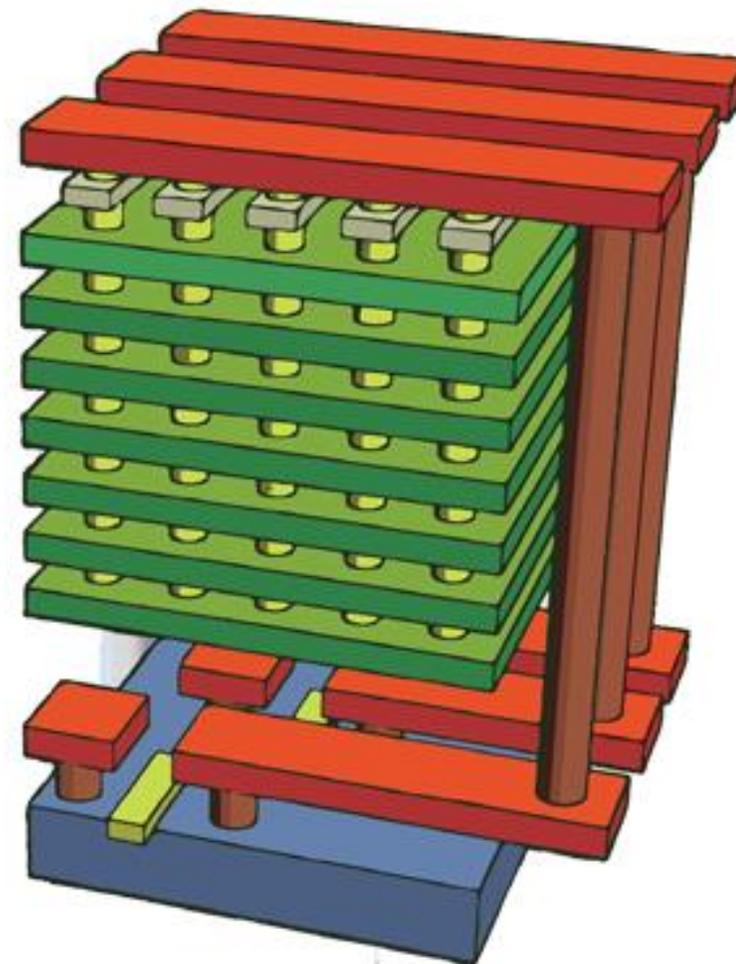
• Недостатки V-NAND:

- **Сложность производства:** Производство V-NAND более сложно и дорогостояще, чем 2D NAND, что влияет на стоимость конечных продуктов.
- **Более высокие требования к контроллеру:** Управление многоуровневой структурой V-NAND требует более сложных контроллеров.

2D NAND // 3D NAND



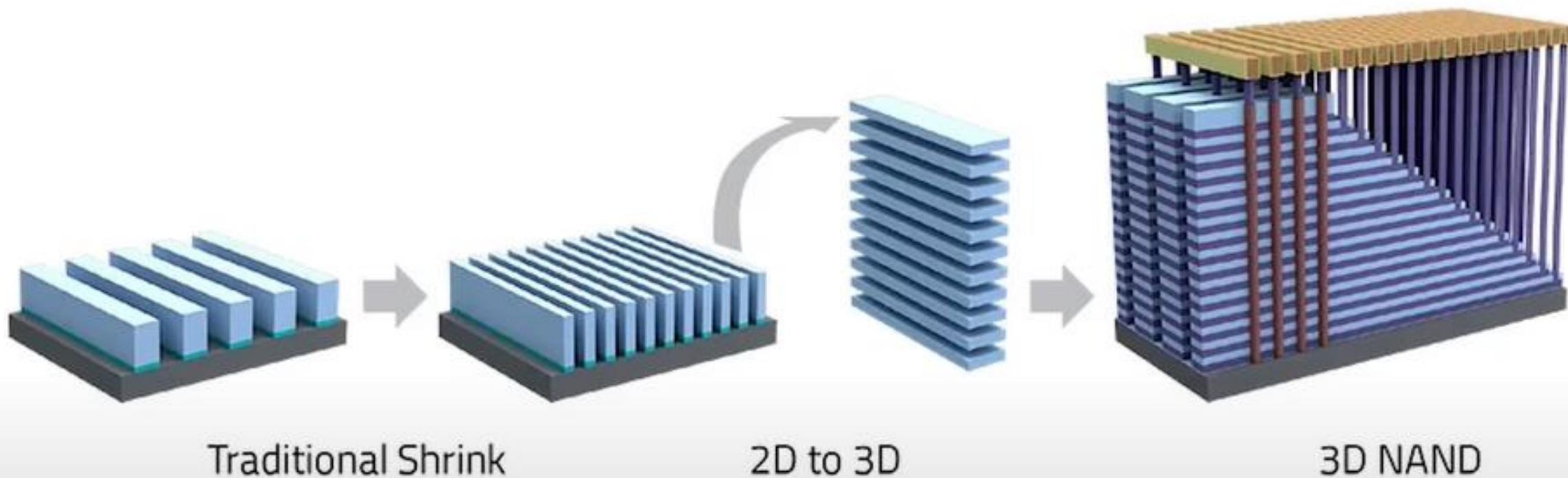
2D NAND



3D NAND

Схематичный разрез двумерной и трехмерной NAND Flash памяти

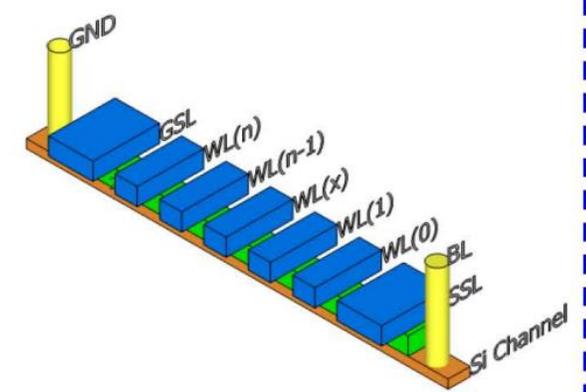
3D NAND



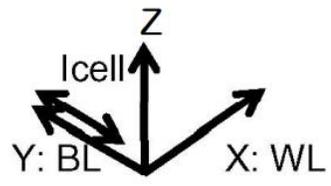
3D NAND

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

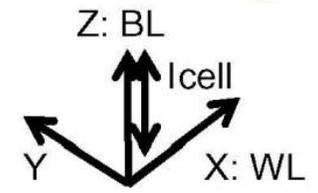
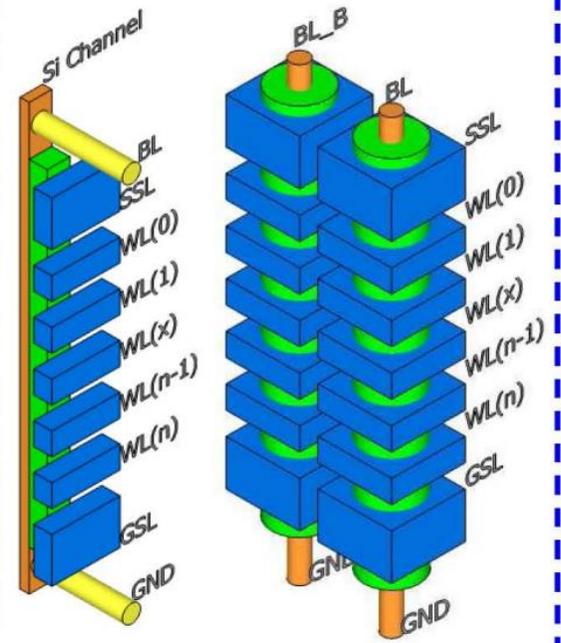
(a) 2D SONOS NAND



- : ONO
- : WL
- : Si Channel
- : Contact



(b) Vertical Channel (VC) 3D NAND



(c) Vertical Gate (VG) 3D NAND

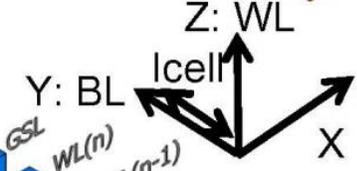
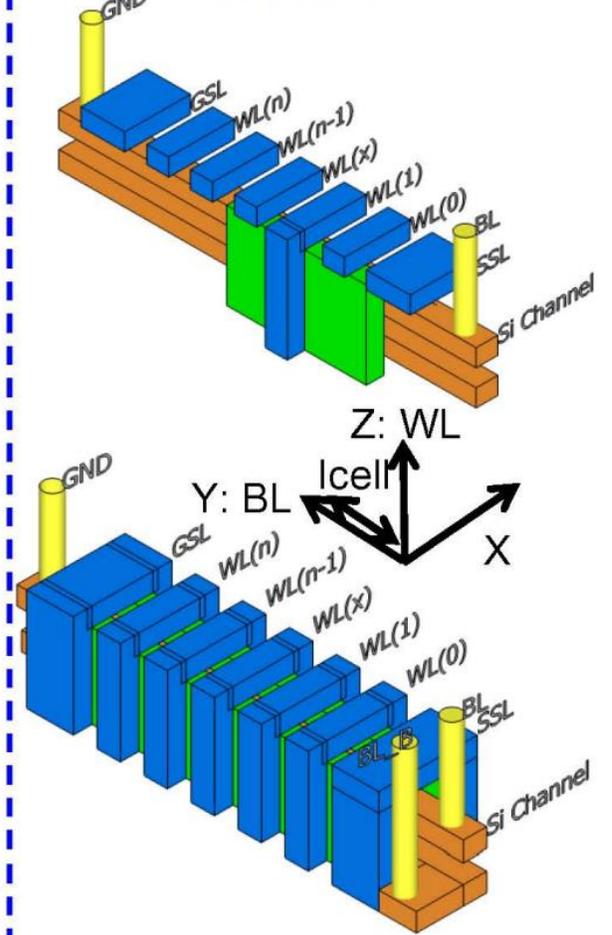
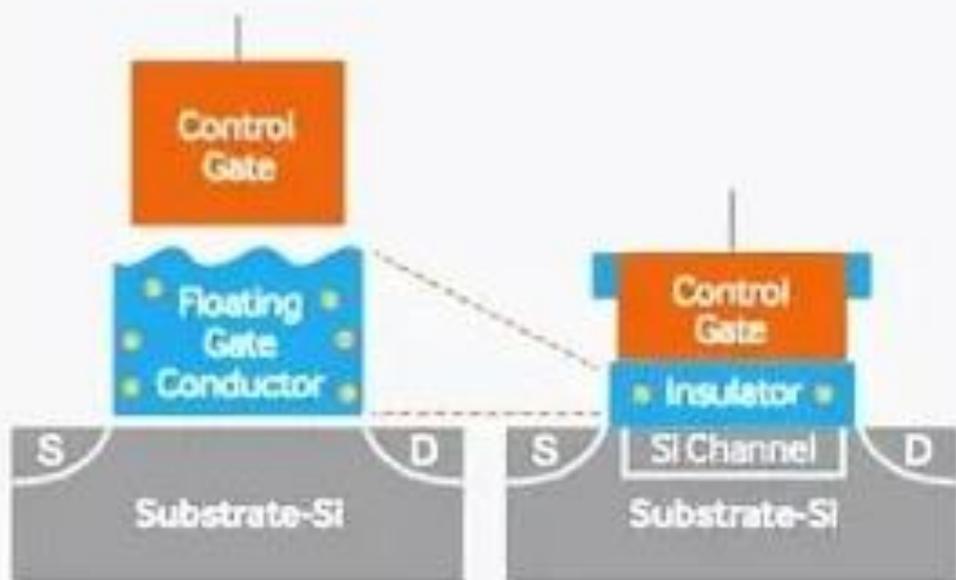


Схема структуры OFFFA) 2D Sonos NAND, (B) Вертикальный канал (VC) 3D NAND и (C) Вертикальные затворы (VG) 3D NAND. Строковой ток течет вдоль горизонтального канала в направлении Y в 2D Sonos NAND и VG NAND -структурах, в то время как строковый ток просачивается вдоль вертикального канала в направлении Z в структуре VC NAND.

3D NAND

Samsung: Migration of Planar NAND to 3D NAND



Floating Gate



2D CTF

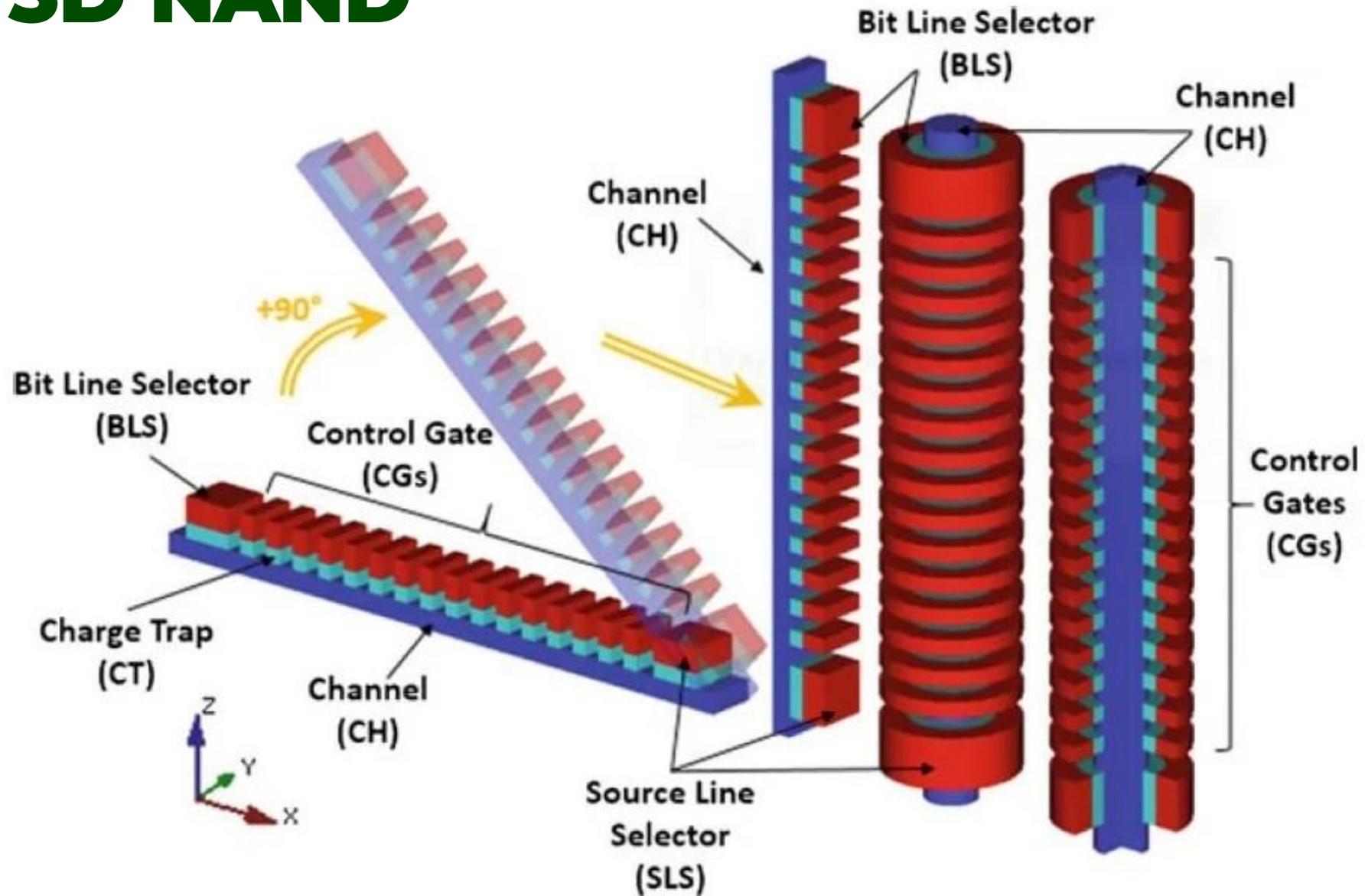


3D CTF



3D V-NAND

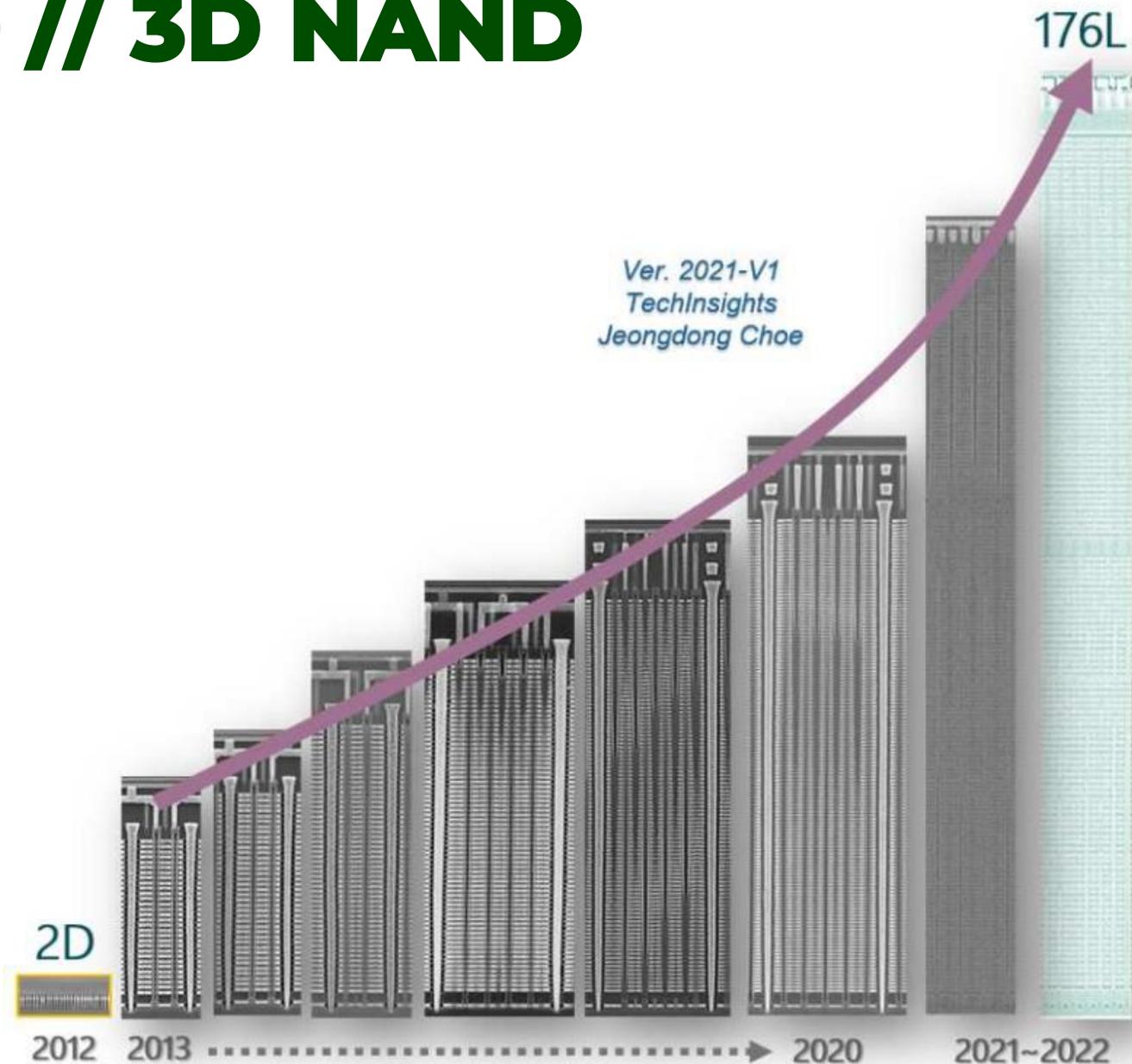
3D NAND



Это самая простая трехмерная архитектура, которую только можно придумать - это набор плоских массивов, расположенных один над другим. Все строки NAND имеют общие контакты стока и разрядные строки, в то время как исходная строка, селекторы источника и стока, а также строки слов должны быть декодированы на основе уровней.

С точки зрения физической компоновки: в однослойном кристалле памяти (NAND) затворы собираются в кольца, а в многослойном (vNAND) в стопку из колец.

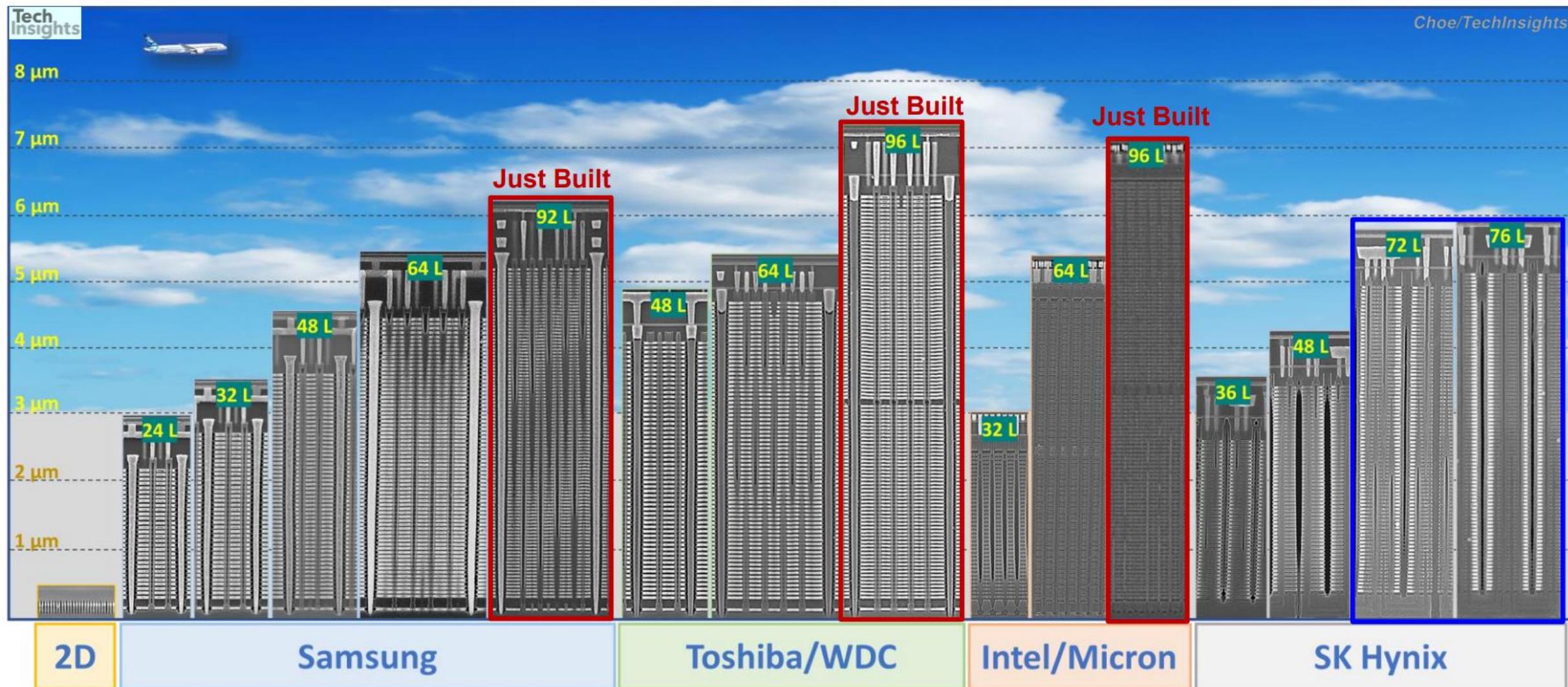
2D NAND // 3D NAND



Сравнение высоты вертикальных слоев 3D NAND

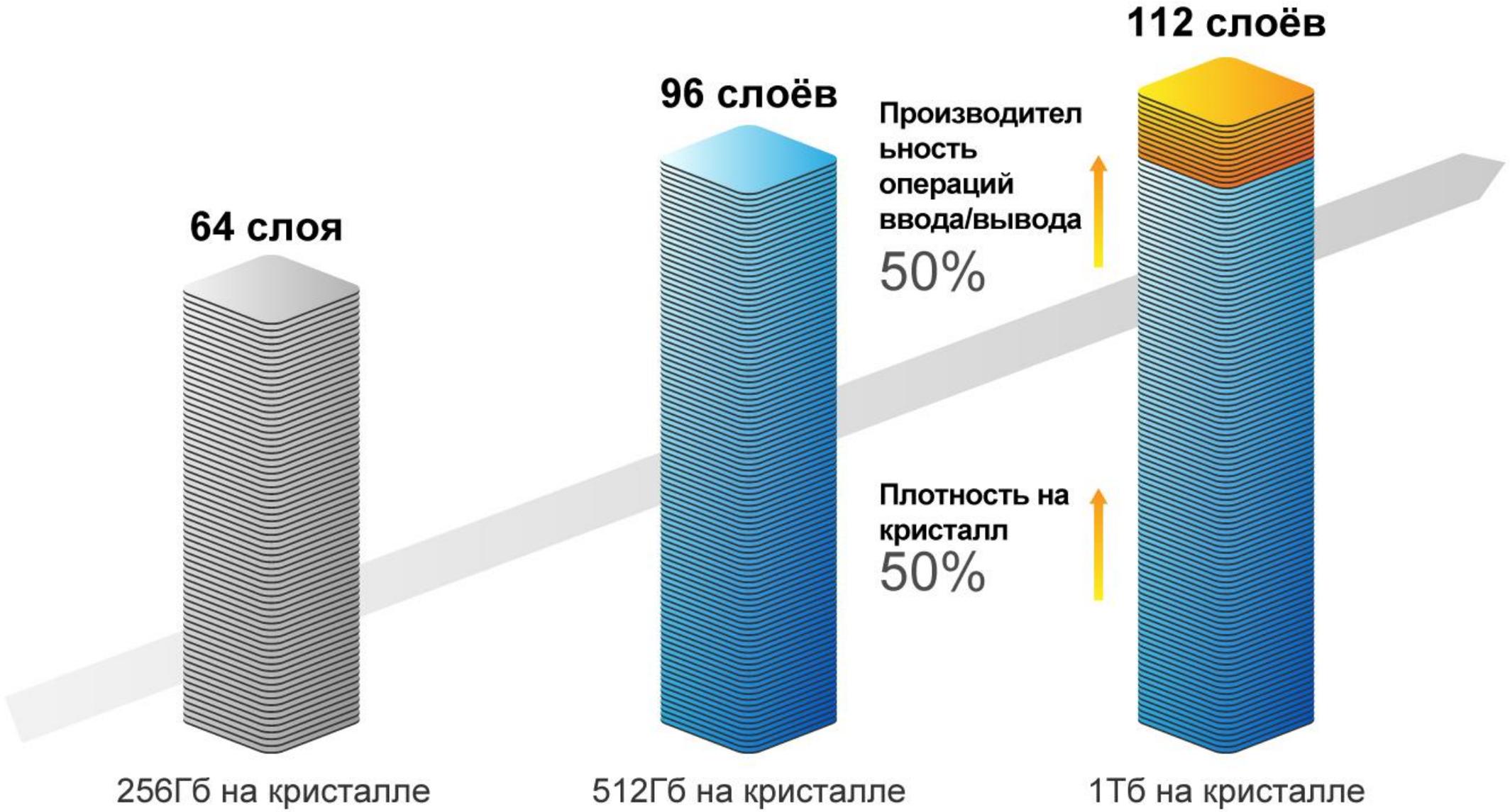
2D NAND // 3D NAND

Flash Memory Summit 2019



Сравнение высоты вертикальных слоев 3D NAND

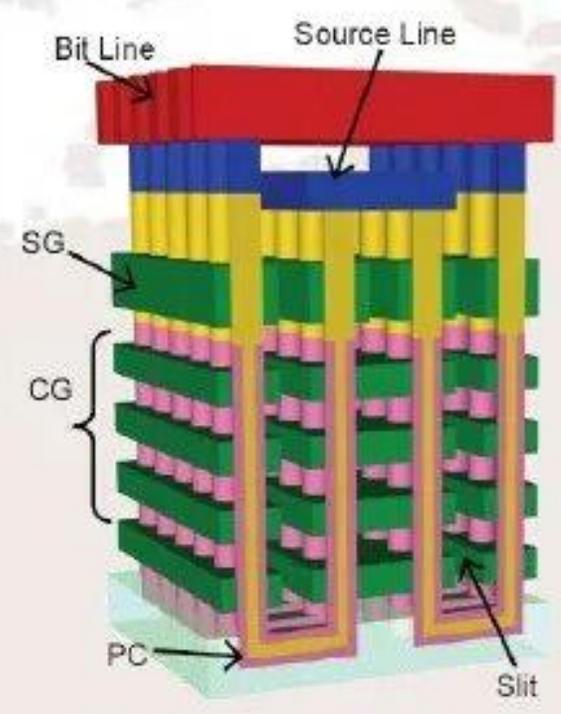
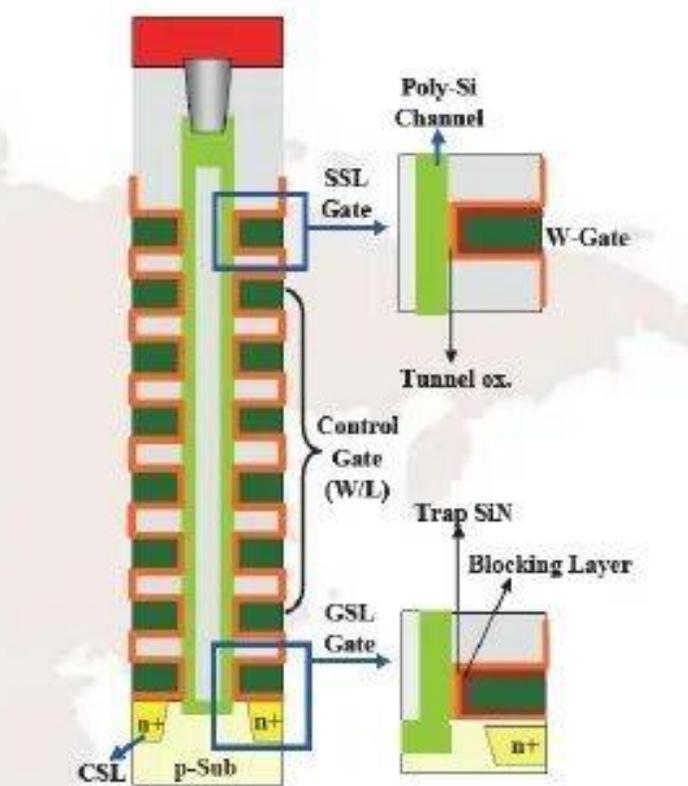
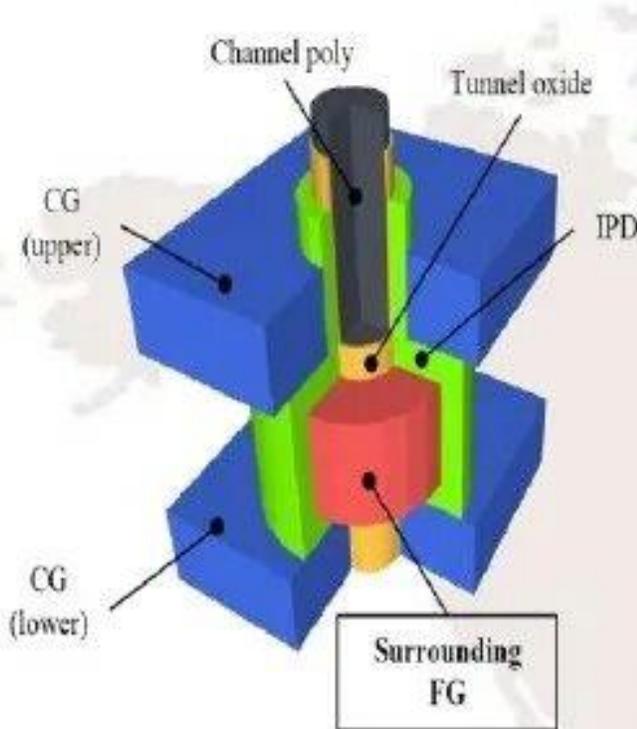
3D NAND



112-слойная 3D NAND флеш-память компании Transcend

Архитектуры 3D NAND

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

	p-BiCS (Toshiba)	TCAT (Samsung)	3D FG (Hynix)
Structure	 <p>R. Katsumata, SOVT2009</p>	 <p>J. Jang, SOVT2009</p>	 <p>S. Whang, IEDM2010</p>

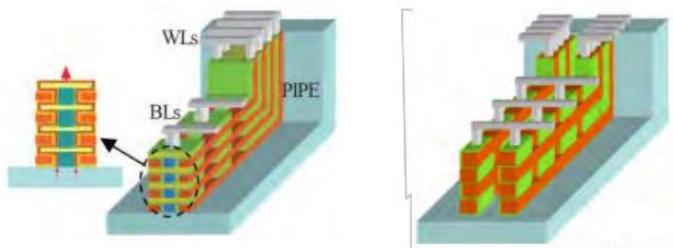
BiCS (Bit Cost Scalable): Эта архитектура использует вертикальное стекирование ячеек, что позволяет увеличить плотность хранения данных.

TCAT (Terabit Cell Array Transistor): В этой архитектуре также применяется вертикальное стекирование, но с акцентом на улучшение производительности и уменьшение затрат.

FG (3D Floating Gate): Это тип архитектуры 3D NAND, в которой для хранения заряда используется плавающий затвор.

Архитектуры 3D NAND

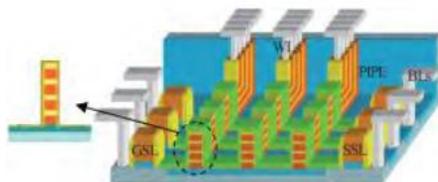
- 1) VRAT: Vertical Recess Array Transistor
- 2) Z-VRAT: Zigzag VRAT
- 3) VSAT: Vertical Stacked Array Transistor
- 4) ESCG: Extended Sidewall Control Gate
- 5) SSCG: Separated Sidewall Control Gate
- 6) SCP: Sidewall Control Pillar
- 7) VCSTAR: Vertical Channel Stacked Array



VRAT 1)

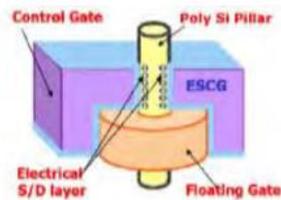
Z-VRAT 2)

UCLA

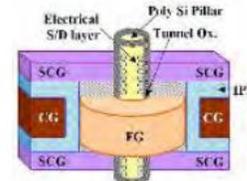


VSAT 3)

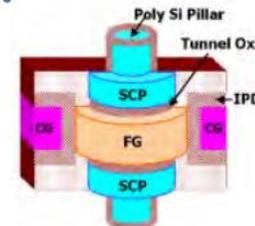
Tohoku Univ.



ESCG 4)

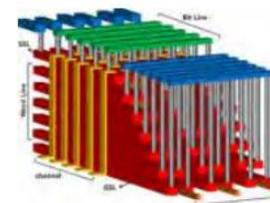


SSCG 5)



SCP FG 6)

SN Univ.



VCSTAR 7)

2006

2007

2008

2009

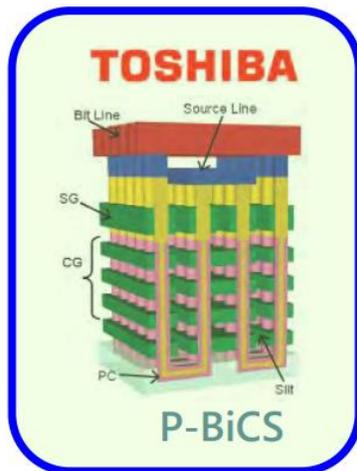
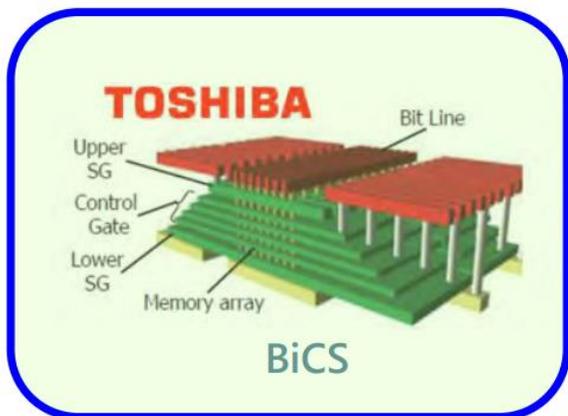
2010

2011

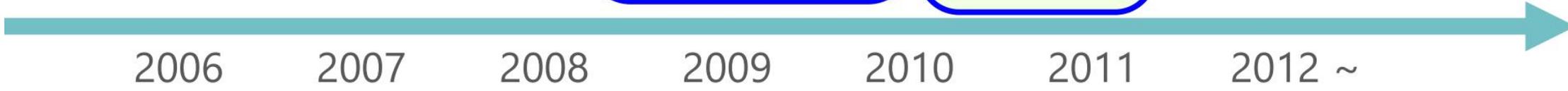
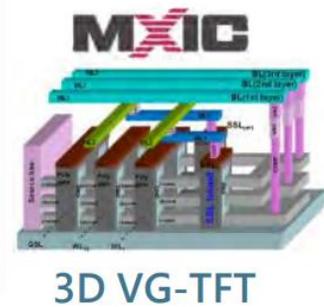
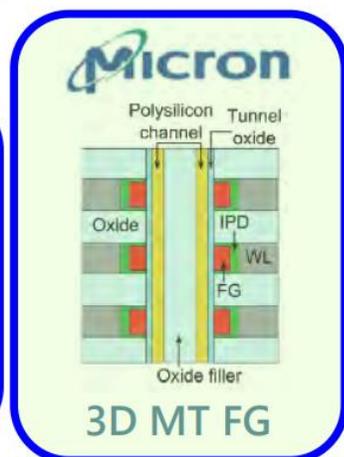
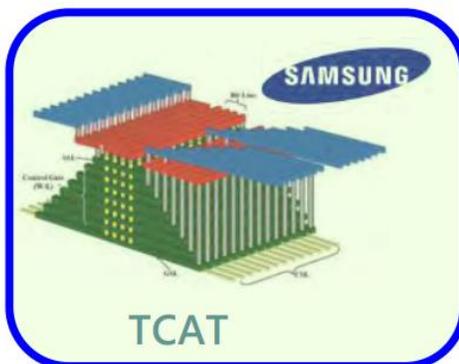
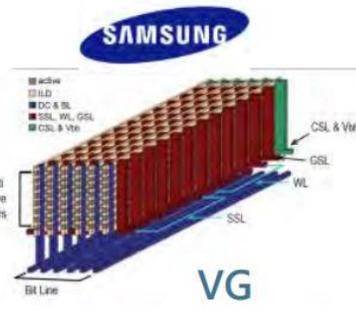
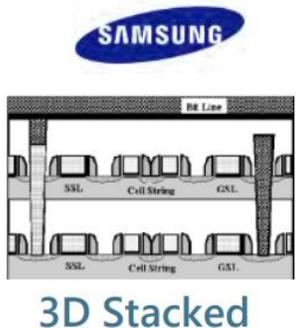
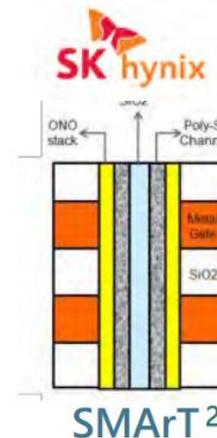
2012 ~

Архитектуры 3D NAND

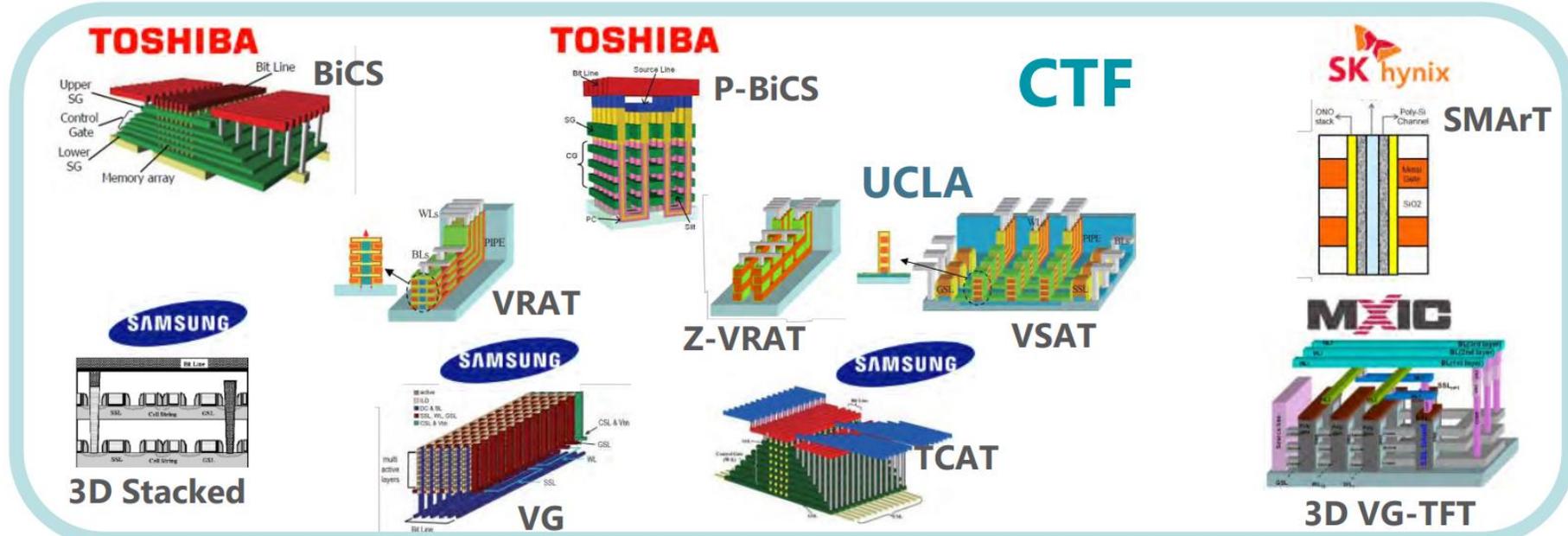
Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



- 1) DC-SF: Dual Control-gate with Surrounding FG
- 2) SMARt: Stacked Memory Array Transistor



Архитектуры 3D NAND (CTF vs. FG)



2006

2007

2008

2009

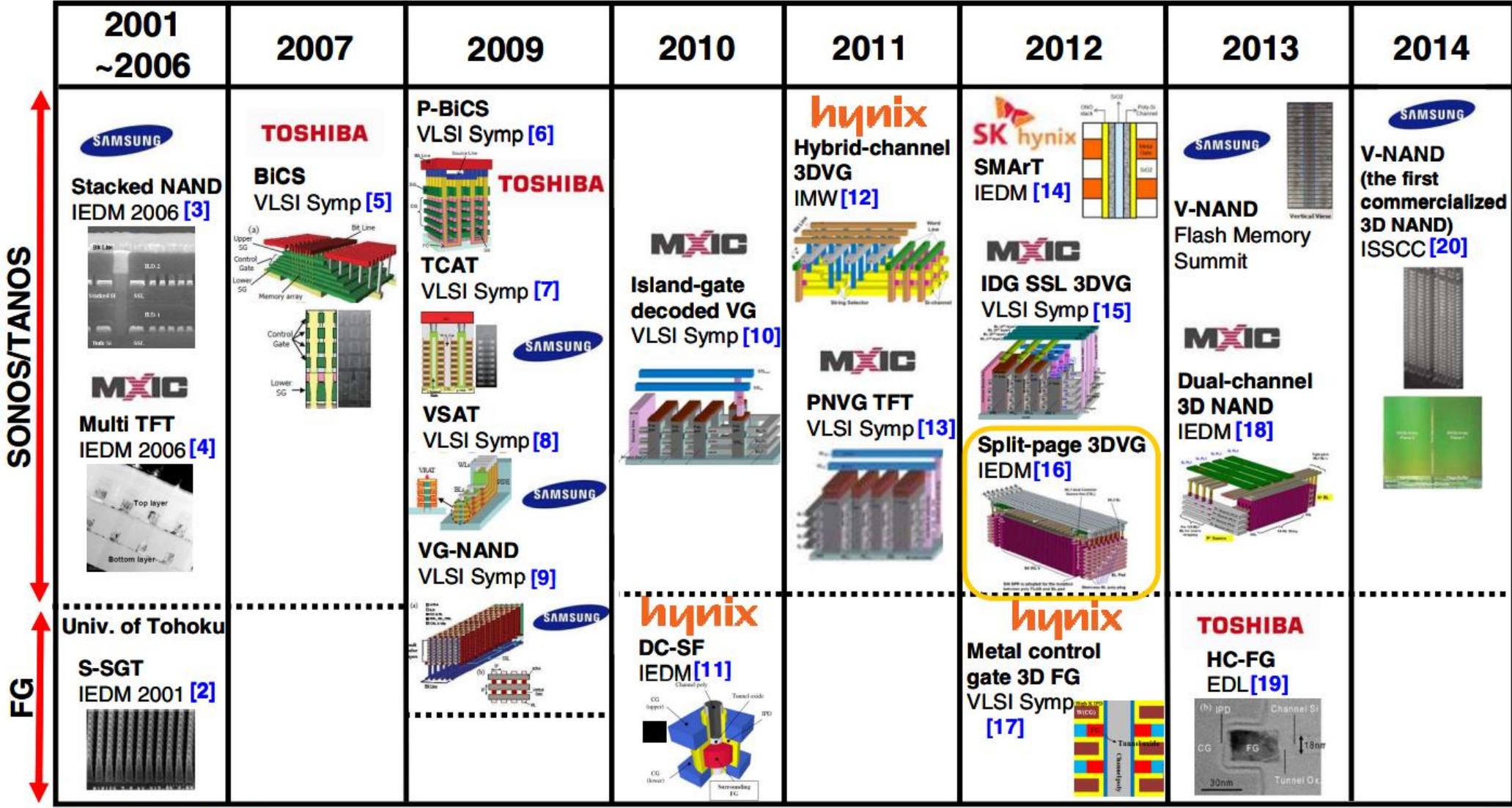
2010

2011

2012 ~

Архитектуры 3D NAND

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



Stacking Devices:
High Process Cost

BiCS Concept: Low Process Cost

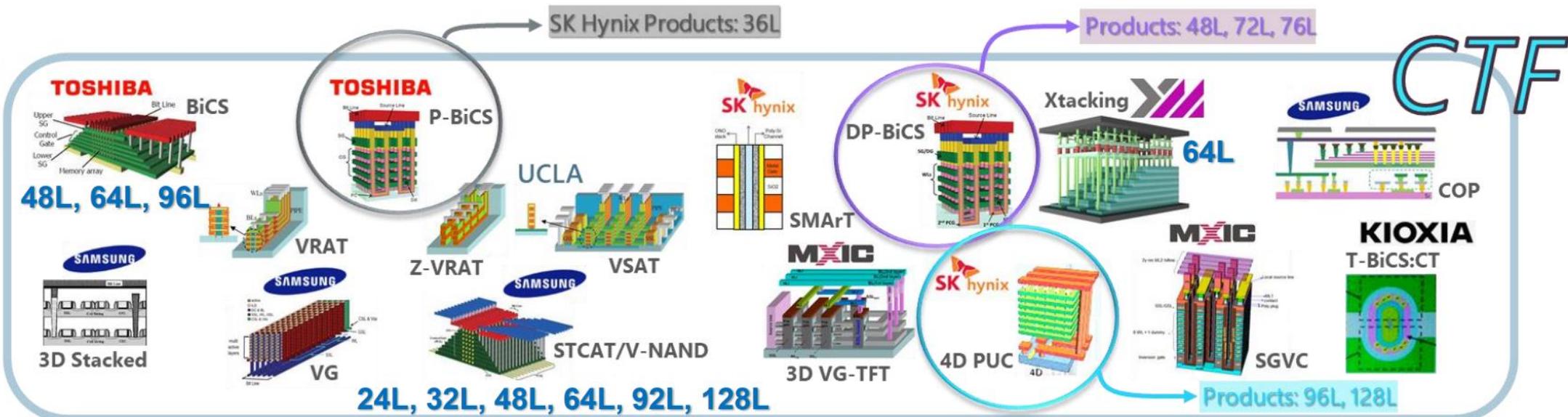
doi:10.1109/icsict.2014.7021429

Архитектуры 3D NAND

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

Ver. 2020-V5
TechInsights
Jeongdong Choe

Tech
Insights



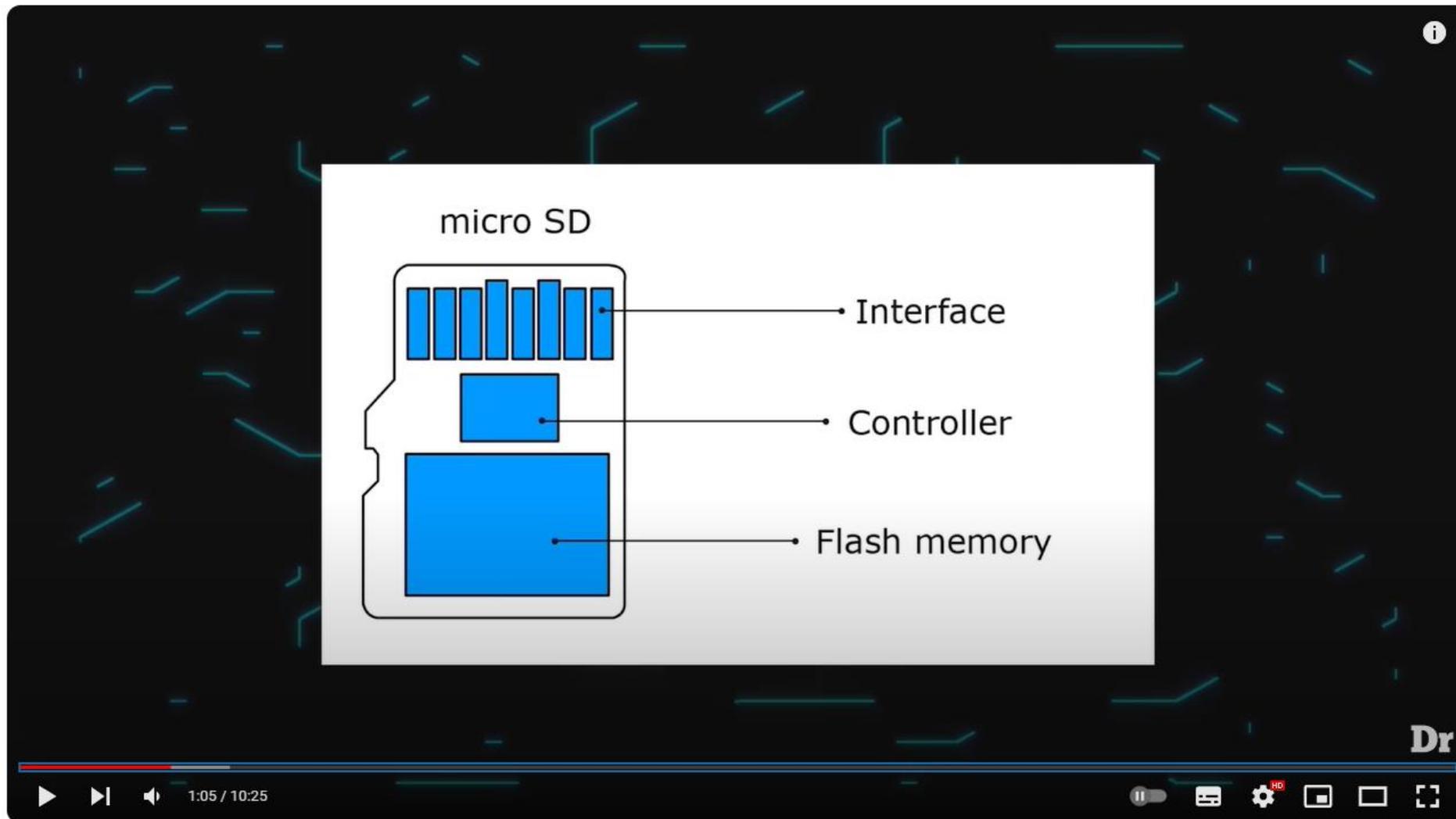
- 1) VRAT: Vertical Recess Array Transistor
- 2) Z-VRAT: Zigzag VRAT
- 3) VSAT: Vertical Stacked Array Transistor
- 4) ESCG: Extended Sidewall Control Gate
- 5) SSCG: Separated Sidewall Control Gate
- 6) SCP: Sidewall Control Pillar
- 7) VCSTAR: Vertical Channel Stacked Array
- 8) DC-SF: Dual Control-gate with Surrounding FG
- 9) SMArT: Stacked Memory Array Transistor
- 10) DP-BiCS: Dual PCG BiCS
- 11) PUC: Peri Under Cell
- 12) CuA: CMOS Under Array
- 13) COP: Cell On Peri
- 14) T-BiCS: Twin BiCS

2006 2007 2008 2009 2010 2011 2012 2015 2018 2020 2021

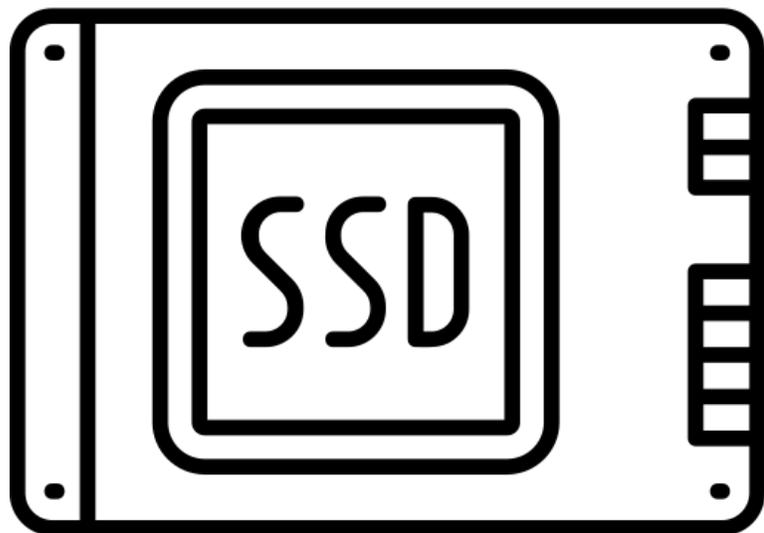
Архитектуры 3D NAND

2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2017	2019	2021
TOSHIBA  BiCS ^[1]	SAMSUNG  VRAT ^[5]	TOSHIBA  PBiCS ^[2] SAMSUNG  TCAT ^[4] SAMSUNG  VSAT ^[5] SAMSUNG  VG-NAND ^[6]	SK hynix  DC-SF ^[8] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  Island-gate decoded VG ^[12]	SK hynix  Hybrid-channel 3DVG ^[9] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  PNVG TFT ^[13]   STAR NAND ^[17]	SK hynix  SMARt ^[10] SK hynix  MCGL 3-D FG ^[11] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  3DVG NAND ^[14] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  Split-page 3DVG ^[15]	TOSHIBA  HC-FG ^[3] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  Dual-Channel 3-D NAND ^[16]	SAMSUNG  V-NAND (24 Stacked WL Layers) ^[7]	SAMSUNG  V-NAND (64 Stacked WL Layers) ^[18] TOSHIBA  BiCS Technology (64 Stacked WL Layers) ^[19] MXIC <small>MACRONIX INTERNATIONAL Co., Ltd.</small>  SGVC 3-D NAND (16 Stacked WL Layers) ^[24]	SAMSUNG  V-NAND (120 Stacked WL Layers) ^[20] KIOXIA  3-D NAND Flash (96 Stacked WL Layers) ^[21]	SAMSUNG  V-NAND (176 Stacked WL Layers) ^[22] SK hynix  3-D NAND Flash (176 Stacked WL Layers) ^[23]
 Gate Stack  Channel Stack  Charge Trapping Layer  Floating Gate										

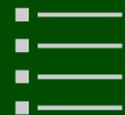
<https://doi.org/10.3390/app11156703>



https://www.youtube.com/watch?v=y4Vg6_Yb9g8
КАК в MicroSD помещается 1 ТЕРАБАЙТ?



Виды накопителей на твердотельной памяти (Flash SSD)



Виды НТТП (Flash SSD)

- В настоящее время используются различные виды НТТП:
- **1. Карты памяти** (flash-карты);
- **2. USB-flash** накопители (диски);
- **3. SSD HDD;**
- **4. SSD HDD** – карты расширения.



1. Карты памяти
(flash-карты)



2. USB-flash накопители



SSD 2.5" SATA



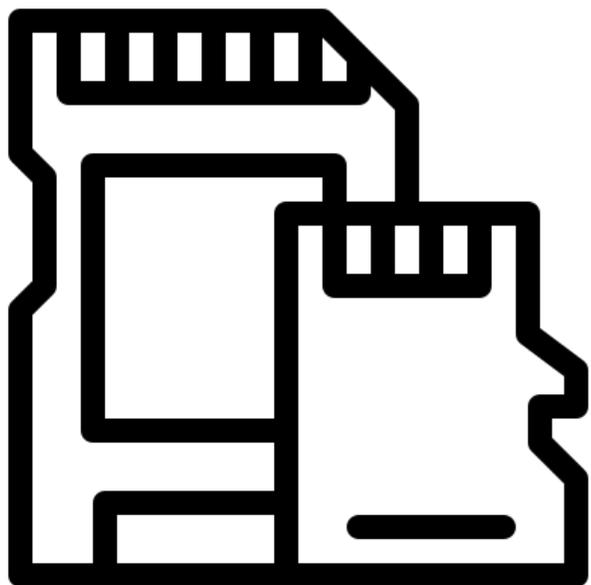
SSD M.2 SATA



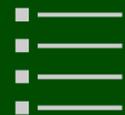
SSD M.2 NVME



4. SSD HDD – карты расширения



Карты памяти (flash-карт)



Карта памяти (flash-карта)

- **Карта памяти (flash-карта)** – компактное электронное внешнее запоминающее устройство с произвольным доступом в виде сменного (removable media) носителя, используемое для хранения разнообразных цифровых данных.
- Карты памяти изготавливаются на основе технологии флеш-памяти.
- **Существует большое разнообразие типов карт памяти:**
 - PC-Card (PCMCIA) или ATA Flash;
 - CompactFlash (CF);
 - SmartMedia (SSFDC – Solid State Floppy Disk Card);
 - xD-Picture Card (eXtreme Digital);
 - MMC (MultiMedia Card) ;
 - Memory Stick (MS);
 - Memory Stick PRO;
 - Memory Stick Duo;
 - Memory Stick PRO Duo;
 - SD (SecureDigital);
 - miniSD card;
 - microSD card;
 - и т.д..

Типы карт памяти (flash-карт)



Compact Flash (CF)



Memory Stick



xD-PictureCard



microSD card

Типы карт памяти (flash-карт)

- **Типы карт памяти отличаются:**
 - типом интерфейса – параллельный, последовательный;
 - типом разъема – штырьковый, ламельный;
 - наличием встроенного контроллера;
 - форм-фактором;
 - ёмкостью;
 - скоростью записи/чтения;
 - файловой система – FAT12/16, FAT32, exFAT и другие;
 - аппаратной защитой данных.

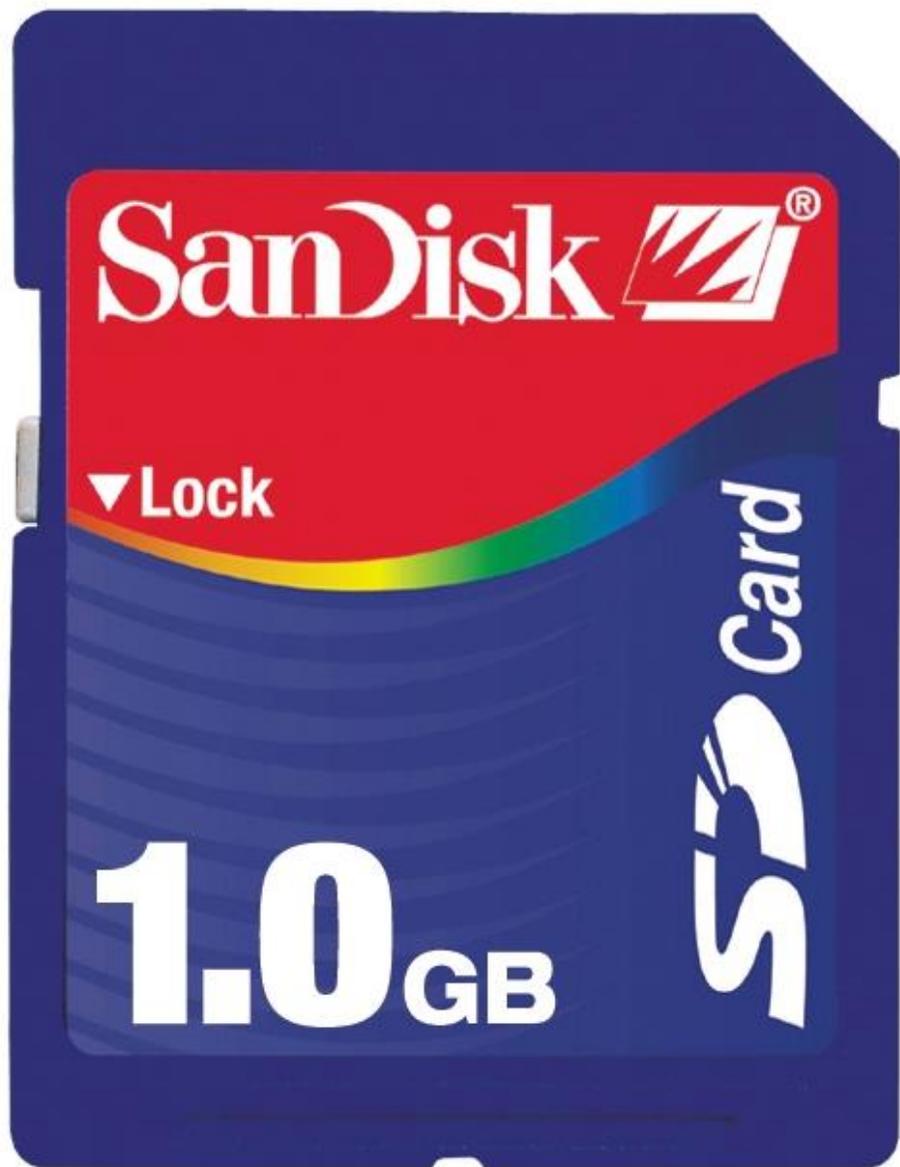
Карты памяти (flash-карт)

- Типы карт памяти могут иметь различные виды, зависящие в основном от поддерживающих компаний-производителей



Виды карт памяти Memory Stick

Карта памяти SD



Карты памяти

onliner

Поиск в Каталоге. Например, "надувной матрас"

Вход



Onliner Prime

Электроника

Компьютеры и сети

Бытовая техника

На каждый день

Стройка и ремонт

Дом и сад

Авто и мото

Красота и спорт

Детям и мамам

Каталог Onliner / Компьютеры и сети / Хранение данных

Карты памяти

Каталог [Объявления](#)

Сначала популярные

Prime

Доставка со склада Onliner в удобное для вас время

Minipay

Оплата товаров мини-платежами раз в месяц

Суперцена

Доставка в Минск

С доставкой по Беларуси

Производитель

Kingston

SanDisk

Samsung

Netac

Silicon-Power

Все 51 вариант



Выбор покупателей

Карта памяти Kingston Canvas Go! Plus microSDXC 256GB (с адаптером)

★★★★★ 4,7 (51) Начните обсуждение!

- 256 ГБ
- класс 10
- UHS-I (класс U3)
- V30
- A2

- чтение: 170 МБ/с
- запись: 90 МБ/с
- адаптер

-16% от **85,81 р.** ~~102,56 р.~~

Вернем до 5% на «Клевер»

Оплата частями Minipay от 2,61 р./мес.

По Халве до 3 мес.

33 предложения



Выбор покупателей

Карта памяти Kingston Canvas Go! Plus microSDXC 128GB (с адаптером)

★★★★★ 4,7 (51) Начните обсуждение!

- 128 ГБ
- класс 10
- UHS-I (класс U3)
- V30
- A2

- чтение: 170 МБ/с
- запись: 90 МБ/с
- адаптер

-12% от **50,02 р.** ~~57,00 р.~~

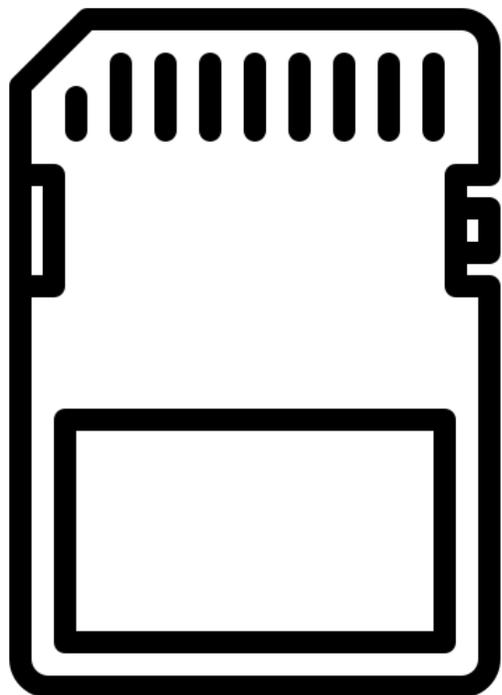
Вернем до 5% на «Клевер»

Оплата частями Minipay от 1,53 р./мес.

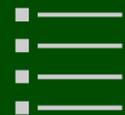
По Халве до 3 мес.

31 предложение

<https://catalog.onliner.by/memcards>



Карты памяти SD

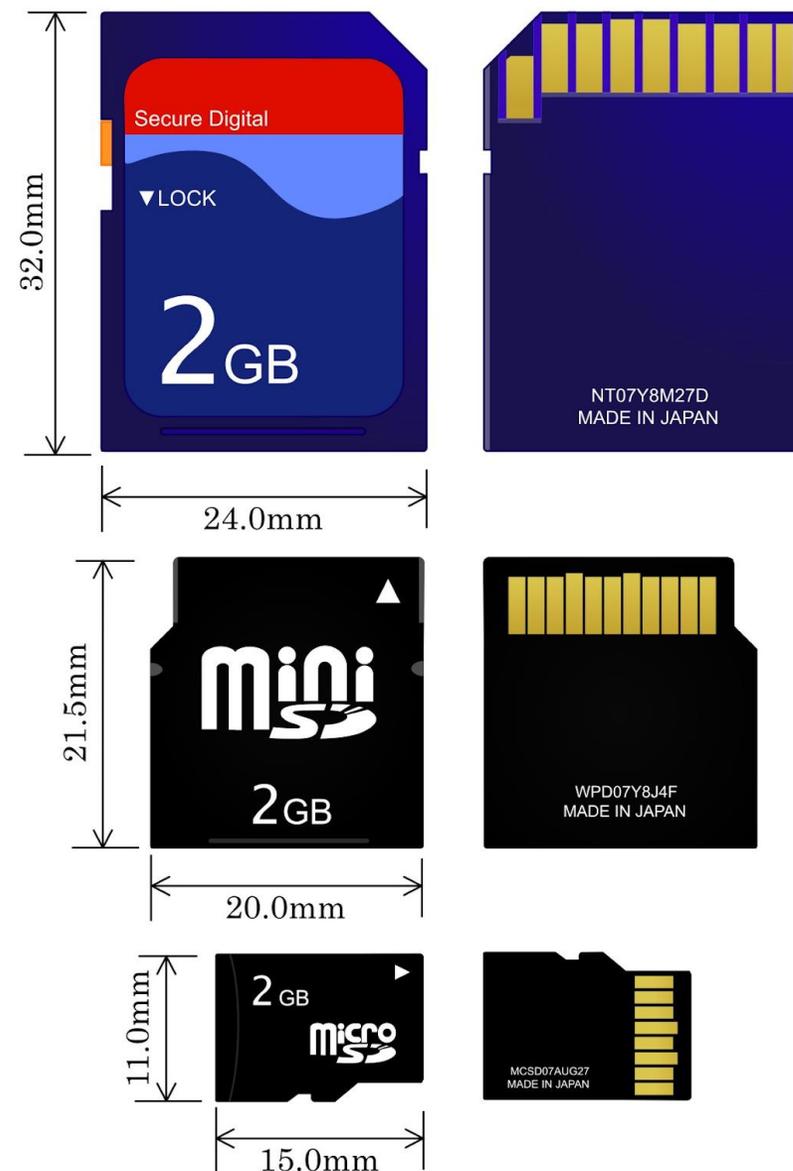


Карты памяти SD



Карты памяти SD. Форм-фактор

- Карты памяти SD совместимы со стандартом MMC, т.к. являются его развитием.
- Они выпускаются в трёх форм-факторах:
 - SD (full size, полноразмерные),
 - miniSD
 - и microSD



Карты памяти SD. Стандарты (типы)

- Карты памяти SD развиваются в виде **стандартов (типов)**.
- Основное различие между стандартами SD заключается в доступной ёмкости памяти.
- Карты памяти SD бывают четырех стандартов, которые соответствуют разным емкостям.
- **Стандарты SD:**
 - **SD** (Secure Digital)
 - **SDHC** (Secure Digital High Capacity)
 - **SDXC** (Secure Digital Extended Capacity)
 - **SDUC** (SD Ultra Capacity)

Тип	Емкость
SD	обычно до 2 ГБ
SDHC	от 2 ГБ до 32 ГБ
SDXC	от 32 ГБ до 2 ТБ
SDUC	от 2 ТБ до 128 ТБ

Карты памяти SD. Стандарты (типы)

- **SD.** Данный стандарт представлен в двух версиях: 1.0 и 1.1. Карты памяти SD 1.0 имеют объем от 8 МБ до 2 ГБ, тогда как емкость устройств, отвечающих спецификации 1.1, достигает уже 4 ГБ. SD-карты этого типа используют побайтную адресацию и 32-разрядные адреса (чем и объясняется максимальный предел емкости в 4 гигабайта), поддерживая файловые системы FAT16 и FAT32.
- **SDHC.** Карты памяти, удовлетворяющие SD Specification версии 2.0. Их главным отличием от предшествующих является поддержка посекторной адресации, что позволило увеличить максимальный объем флэш-карт до 32 гигабайт. Негативная сторона данного преимущества — отсутствие обратной совместимости с устройствами, ориентированными на работу с обычными SD-картами. В качестве файловой системы используют FAT32.

Карты памяти SD. Стандарты (типы)

- **SDXC**. Стандарт, представленный SD Association в 2009 году в рамках профильной международной выставки International Consumer Electronics Show (CES).
- Аббревиатура расшифровывается как Secure Digital eXtended Capacity («SD-карты повышенной емкости»).
- Карты памяти SDXC могут иметь объем до 2 ТБ и используют файловую систему exFAT, а также получили шину UHS (о ней мы поговорим ниже), способную работать в четырехбитовом режиме и обеспечивать скорость передачи данных вплоть до 312 МБ/с.
- Еще одной особенностью нового стандарта является прямая и обратная совместимость с предшествующими стандартами: устройства с поддержкой SDXC способны работать с картами памяти SD и SDHC, а карты памяти SDXC могут работать в устройствах с поддержкой SDHC при условии, что были предварительно отформатированы в FAT32.

Карты памяти SD. Стандарты (типы)

- **SDUC.** Этот стандарт вошел в перечень спецификаций SD Specification версии 7.0. Подобно SDXC, данные карты памяти используют файловую систему exFAT, однако их максимальная емкость может достигать уже 128 ТБ.
- **SD Express.** Стандарт, представленный SD Association широкой общественности 27 июня 2018 года. В него вошли сразу три разновидности флеш-карт, отличающиеся друг от друга максимальной емкостью: **SDHC Express** (до 32 ГБ), **SDXC Express** (до 2 ТБ) и **SDUC Express** объемом до 128 ТБ. Новое поколение карт памяти принципиально отличается от своих предшественников, так как использует интерфейс PCI Express 3.0 и протокол NVMe 1.3 (на втором ряду контактов), что позволяет им развивать скорость передачи данных вплоть до 0,9 ГБ/с. При этом флеш-карты данного типа обратно совместимы с устройствами, поддерживающими работу с шиной UHS.
- **Что касается SDXC и SDUC,** необходимо понимать, что SD Card Association при разработке стандартов играет на опережение, так как на создание соответствующих технологий и практическое внедрение принятых спецификаций требуется достаточно продолжительное время.

Карты памяти SD. Стандарты



English | 日本語

Вход в Систему
Участника

Присоединяйтесь к
Ассоциации SD

Связаться с нами | Карта сайта

Об Ассоциации SD

Потребители

Разработчики

Загрузки

Новости и события

Сайт Участников

Сайты Лицензиатов

Технические документы Ассоциации SD

Загрузки

Технические документы
Ассоциации SD

Упрощенные Технические
характеристики

Устройство форматирования
карт памяти SD для Windows /
Mac

Программа форматирования карт
памяти SD для Windows Скачать
Бесплатно

Программа для форматирования

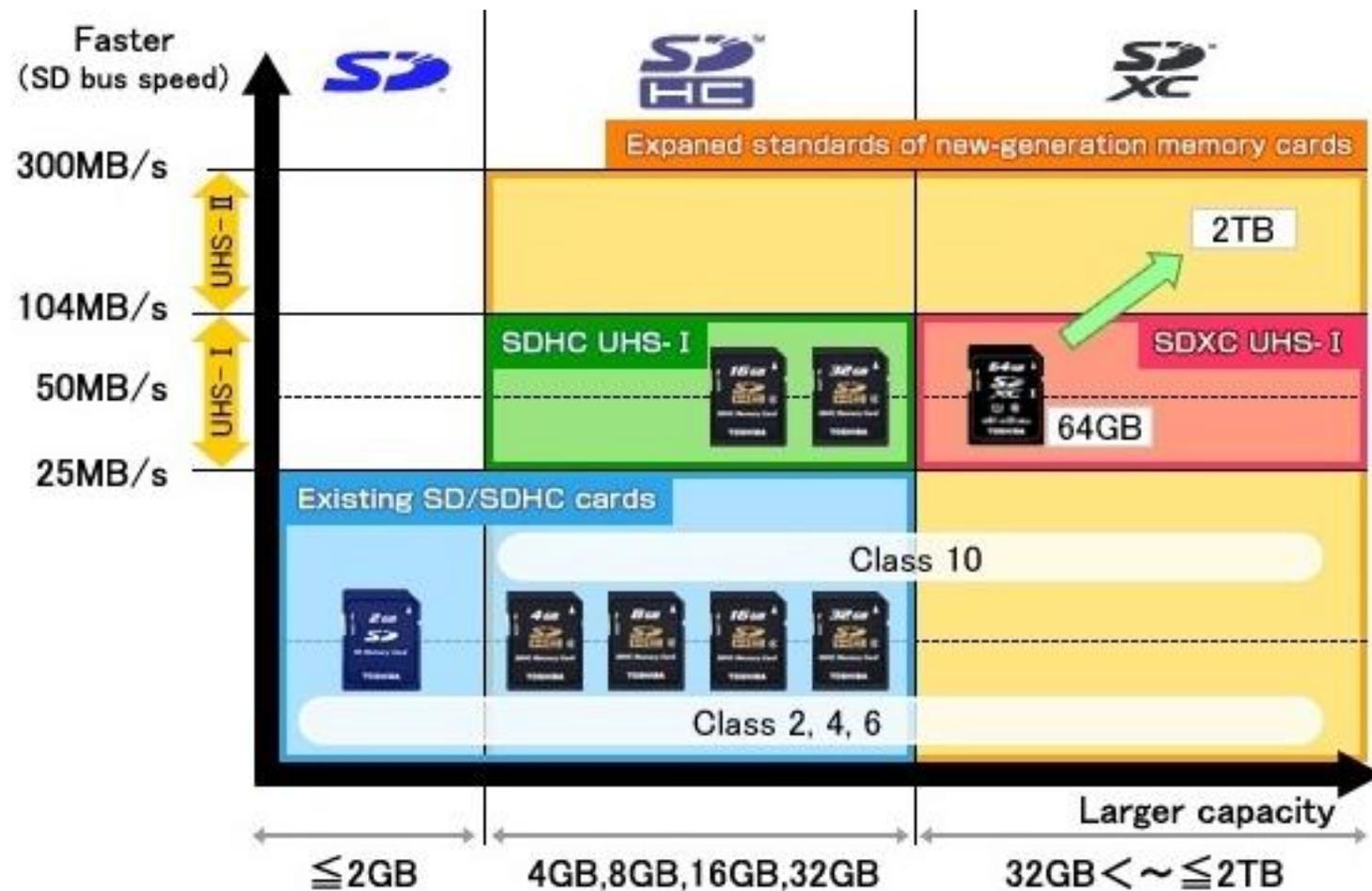
Последние технические документы

Название спецификации	Дата выпуска
Класс скорости SD Express – Как указано в спецификации SD 9.1 Английский	20 октября 2023 года
Загрузка, TCG и RPMB — новые функции безопасности, представленные в SD 9.0 Английский	9 Мая 2022 года
Руководство по внедрению SD Express Host Английский	19 Мая 2020 года
Карты памяти SD Express и microSD Express: лучший выбор для ваших будущих продуктов	19 Мая 2020 года

https://www.sdcard.org/downloads/pls/latest_whitepapers/

Карты памяти SD. Стандарты (типы)

- Аппаратные устройства, в которые устанавливаются карты памяти, обратно совместимы, что означает, что можно использовать карты памяти прежних стандартов в устройствах, которые поддерживают карты новых стандартов.
- Например, в устройствах, совместимых с картами памяти стандарта SDXC, можно использовать карты стандартов SDXC, SDHC и SD



UHS I, UHS II (Ultra High Speed) — высокоскоростной протокол обмена данными

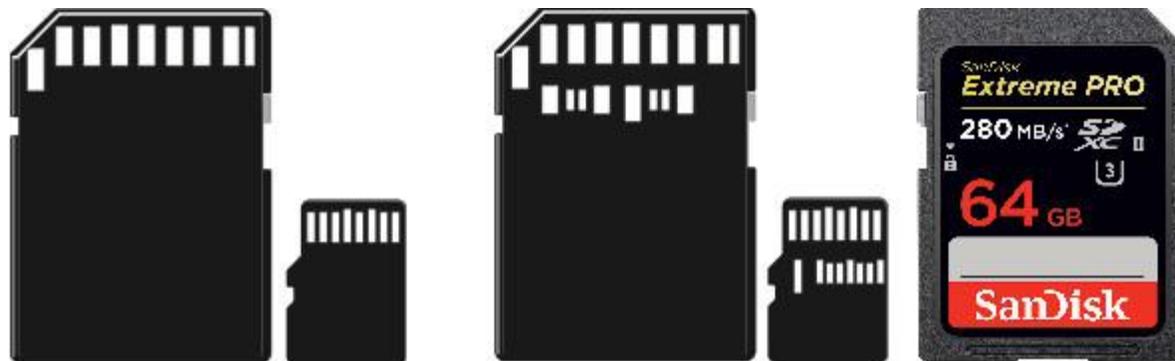
Классификация SD-карт

Скоростные характеристики SD-карт

- Со стандартами разобрались, пришло время изучить скоростные классы. Однако для того чтобы в дальнейшем не возникало путаницы, необходимо разобраться с таким понятием, как **UHS**. Данная аббревиатура расшифровывается как **Ultra High Speed** — «сверхскоростная передача данных».
- Термин имеет два значения. Прежде всего это название шины, спецификация которой впервые появилась в третьей версии стандарта Secure Digital. Главным отличием UHS от предшественников стала поддержка 4-битового режима передачи информации, что позволило вывести производительность флеш-карт на принципиально новый уровень. Так, UHS-I, спецификации которой были определены в стандарте Secure Digital 3.01, поддерживает скорость обмена данными 50 или 104 МБ/с, а UHS-II (вошла в обновленную версию стандарта Secure Digital 4.0) — уже 156 МБ/с или 312 МБ/с, тогда как для SD-карт с интерфейсом High Speed пределом мечтаний были 25 МБ/с.
- Кстати, запись «50 или 104 МБ/с» не является ошибкой. Здесь имеется в виду не диапазон скоростей, а два возможных режима работы. Карты UHS-I способны функционировать в режиме SDR50 или SDR104. В режиме SDR (Single Data Rate) за один такт передается одно слово данных и принимается одна управляющая команда. Таким образом, при частоте 100 МГц шина способна передавать 50 мегабайт в секунду, а при частоте 208 МГц — уже 104 МБ/с.

Скоростные характеристики SD-карт

- С интерфейсом **UHS-II** все несколько сложнее. Такие карты памяти имеют две строки контактов.



- Верхняя обеспечивает обратную совместимость с интерфейсами High Speed и UHS-I, тогда как нижняя — возможность функционирования карты в двух дополнительных режимах: **FD156** и **HF312**. Использование пары низковольтных (0,4 В) полос в дуплексном режиме (а FD означает не что иное, как Full Duplex) позволяет добиться честных 156 МБ/с при частоте 52 МГц, а полудуплексный режим (HD, то есть Half Duplex) — уже 312 МБ/с при той же частоте, однако при этом данные могут передаваться только в одном направлении в каждый конкретный момент времени.
- **Аббревиатура UHS** также используется для обозначения класса скорости флеш-карт, снабженных данным интерфейсом (полное название — UHS Speed Class).

Скоростные характеристики SD-карт

- **Понятие «класс скорости»** — минимальный устойчивый показатель производительности в наихудших условиях тестирования на совместимом оборудовании. На сегодняшний день существуют 4 класса скорости: Speed Class, UHS Speed Class, Video Speed Class, Application Performance Class.
- **Все перечисленные классификации используют единый формат сокращенных обозначений:** XY, где X — литера, указывающая на тип используемой классификации, а Y — число, обозначающее собственно сам класс.
- **Классам скорости флеш-карт соответствуют следующие латинские буквы:**
 - Speed Class — C,
 - UHS Speed Class — U,
 - Video Speed Class — V,
 - Application Performance Class — A.

Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class
		
Метка «Класс скорости» 	Метка «UHS Speed Class». 	Метка «Video Speed Class». V90

Скоростные характеристики SD-карт

- **Speed Class.**
- Самый первый класс скорости известен просто как исходный класс скорости и обозначается СИМВОЛОМ «C».
- **В классе Speed Class есть четыре категории:**
- **C2 (класс 2):** минимальная скорость записи 2МБ/с
- **C4 (класс 4):** минимальная скорость записи 4МБ/с
- **C6 (класс 6):** минимальная скорость записи 6МБ/с
- **C10 (класс 10):** минимальная скорость записи 10МБ/с

Минимальная скорость последовательной записи	Класс скорости			Соответствующий формат видео			
	Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class (новое)	Видео 8K	Видео 4K	Видео в формате Full HD / HD	Стандарт Видео
				Необходимая скорость зависит от конкретного устройства записи / воспроизведения, даже при использовании одного и того же формата.ondition, even in the same format.			
90МБ/с			V90	✓			
60МБ/с			V60	✓	✓		
30МБ/с		U3	V30	✓	✓	✓	
10МБ/с	C10	U1	V10		✓	✓	✓
6МБ/с	C6		V6		✓	✓	✓
4МБ/с	C4					✓	✓
2МБ/с	C2						✓

Скоростные характеристики SD-карт

Speed Class	UHS Speed Class	Video Speed Class	Минимальная устойчивая скорость записи	Область применения
C2	–	–	2 МБ/с	Запись видео стандартного разрешения (SD, 720 на 576 пикселей) Запись видео высокой четкости (HD), включая Full HD (от 720p до 1080p/1080i)
C4	–	–	4 МБ/с	
C6	–	V6	6 МБ/с	
C10	U1	V10	10 МБ/с	Запись видео Full HD (1080p) и серийная съемка в HD (шина High Speed), потоковое вещание HD-видео и передача файлов большого объема (шина UHS)
–	U3	V30	30 МБ/с	Запись видео с разрешением 4K и фреймрейтом 60/120 кадров в секунду (шина UHS)
–	–	V60	60 МБ/с	Запись видеофайлов с разрешением 8K и фреймрейтом 60/120 кадров в секунду (шина UHS)
–	–	V90	90 МБ/с	

Скоростные характеристики SD-карт

Bus Interface	Card Type	Bus Mark	Bus Speed	Spec Version
Default Speed	SD, SDHC and SDXC	---	12.5MB/s	1.01
High Speed	SD, SDHC and SDXC	---	25MB/s	1.10
UHS-I	SDHC and SDXC	 	50MB/s (SDR50, DDR50) 104MB/s (SDR104)	3.01
UHS-II	SDHC and SDXC	 	156MB/s Full Duplex 312MB/s Half Duplex	4.00
UHS-III	SDHC and SDXC	 	312MB/s Full Duplex 624MB/s Full Duplex	6.00

Карты памяти SD. Маркировка

Обозначение
скоростного класса
UHS-I Speed Class
(1 — не менее
10 Мбайт/с)

Скорость чтения —
60 Мбайт/с и скорость
записи — 35 Мбайт/с



Высокоскоростной
протокол обмена
данными — UHS-I

Указывает класс
скорости SD —
Class 10

Карты памяти SD / microSD



Карты памяти SD / microSD

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



microSD™ V30
CLASS 10 U3



Карты памяти microSD

- **Карты microSD** – это версия SD-карт меньшего размера (форм-фактора), ее размеры составляют всего 11×15×1 мм. и самая большая разница между ними заключается в их конструктивных характеристиках. Они также более универсальны, поскольку часто доступны с адаптером SD, который позволяет использовать карты microSD в аппаратных устройствах, которые поддерживают только карты SD.
- microSD карты пришли на смену своей предшественнице miniSD. В **настоящее время карты именно этого типа используются в смартфонах, планшетах, MP3-плеерах, фотоаппаратах, видеокамерах и другой переносной технике.** Кстати, у microSD есть и другое, ныне устаревшее название — TransFlash (T-Flash или TF).
- Аппаратные устройства обратно совместимы с картами microSD так же, как и с полноразмерными SD-картами. Для карт microSD действуют те же правила, что и для SD-карт. Устройство, совместимое с microSDXC, будет работать с картами microSDXC, microSDHC и microSD.

Карты памяти microSD. Стандарты (типы)

- Карты microSD используют те же четыре стандарта SD, что и карты SD.
- **Четыре стандарта SD для карт microSD:**
 - microSD
 - microSDHC
 - microSDXC
 - microSDUC

Тип	Емкость
microSD	2 ГБ и менее
microSDHC	От 2 ГБ до 32 ГБ
microSDXC	От 32 ГБ до 2 ТБ
microSDUC	От 2 ТБ до 128 ТБ

- Кроме того, аппаратные устройства обратно совместимы с картами microSD так же, как и с полноразмерными SD-картами. Для карт microSD действуют те же правила, что и для SD-карт.
- Устройство, совместимое с microSDXC, будет работать с картами microSDXC, microSDHC и microSD. Устройство, совместимое с microSDHC, будет работать с картами microSDHC и microSD. Устройство, совместимое с microSD, будет работать только с картой microSD.
- Аналогично вышеуказанному, аппаратные устройства, поддерживающие новые стандарты, обратно совместимы с картами предыдущих стандартов microSD, однако карты новых стандартов microSD не могут использоваться в аппаратных устройствах, которые поддерживают только предыдущие стандарты.

Карты памяти microSD. Маркировка



КАРТА SANDISK EXTREME PRO® UHS-I

1 TB

512 GB

400 GB

256 GB

128 GB

64 GB

32 GB

Емкость: 1 TB

Скорость чтения: до 170 МБ/с*

Скорость записи: до 90 МБ/с*

Скорость видео: C10, U3, A2, V30⁴

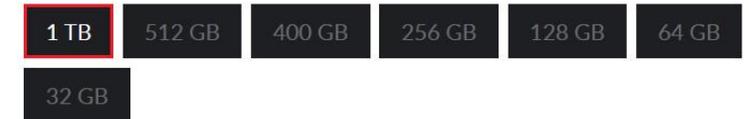
исполнение: microSDXC

Карты памяти microSD. Маркировка

- **microSD** — карта памяти имеет габаритные размеры 11×15×1 мм (ширина × высота × толщина).
- **SDXC** — перед нами карта стандарта Secure Digital eXtended Capacity, снабженная высокоскоростной шиной UHS.
- **C10** — карта демонстрирует минимальную устойчивую скорость записи 10 МБ/с в режиме обратной совместимости (шина High Speed).



КАРТА SANDISK EXTREME PRO® UHS-I



Емкость: 1 TB

Скорость чтения: до 170 МБ/с*

Скорость записи: до 90 МБ/с*

Скорость видео: C10, U3, A2, V30†

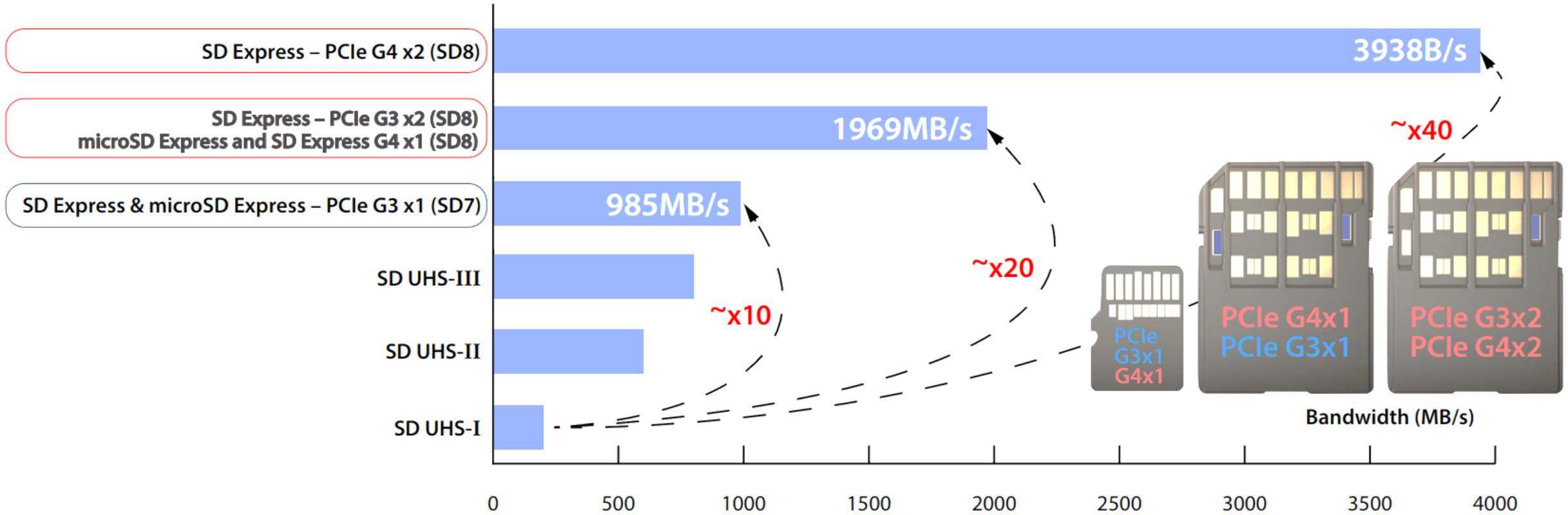
исполнение: microSDXC

- **U3** — карта демонстрирует минимальную устойчивую скорость записи 30 МБ/с по шине UHS.
- **V30** — карту можно использовать для записи видеопотока в разрешении до 4K с частотой 60/120 кадров в секунду.
- **A2** — карта демонстрирует минимальную стабильную производительность на уровне 4000 IOPS в операциях случайного чтения и 2000 IOPS в операциях случайной записи при скорости передачи данных 10 МБ/с и пригодна для расширения встроенной памяти смартфонов и планшетов на базе операционной системы Android.

SD Express

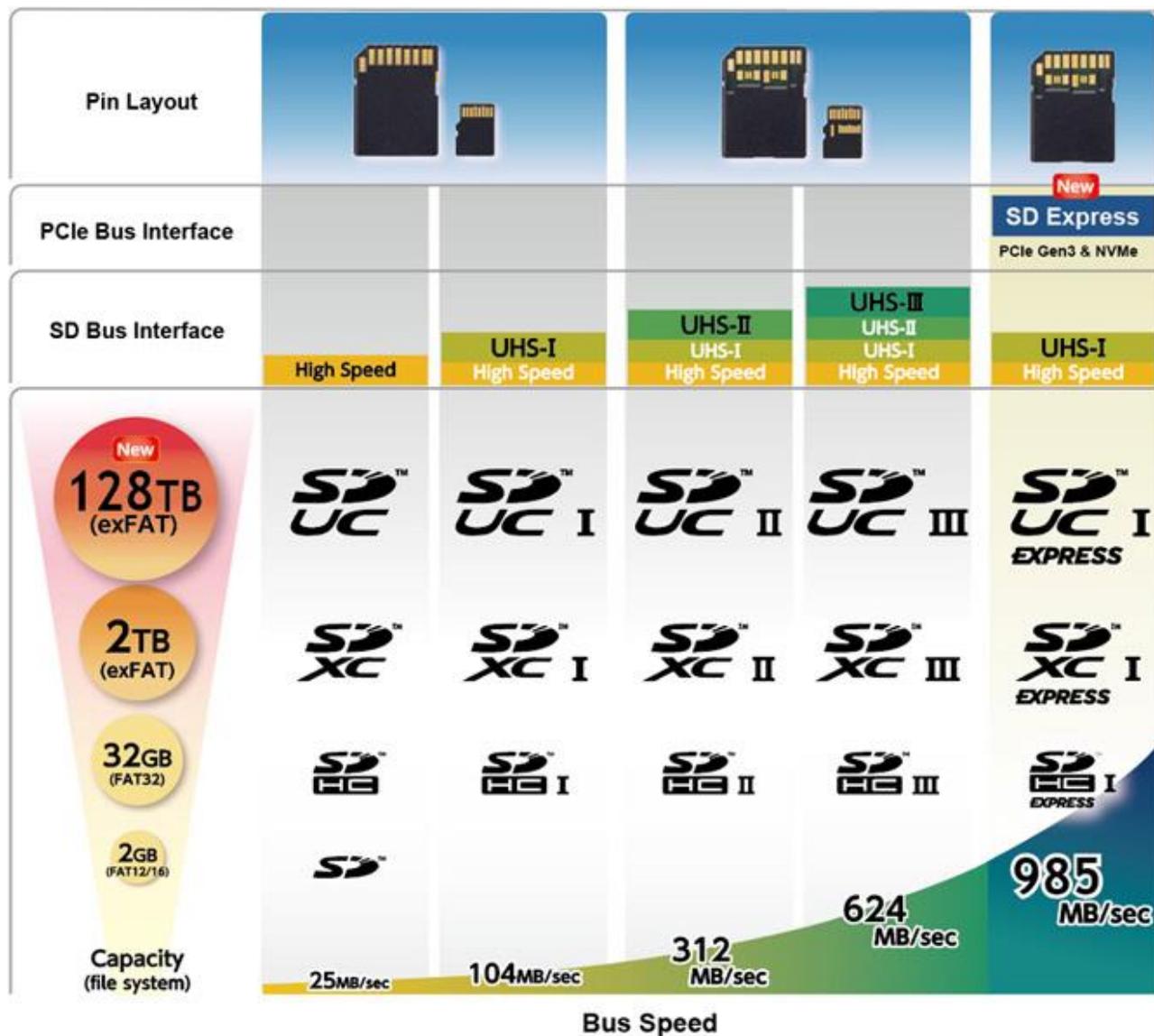
- **SD Express** — это стандарт карт памяти, представляющий собой эволюцию традиционных SD-карт, обеспечивающий значительно более высокую скорость передачи данных.
- **Вместо традиционного интерфейса SD (UHS-I), SD Express использует интерфейс NVMe** (Non-Volatile Memory Express) для достижения значительно более высоких скоростей передачи данных. Это достигается за счет использования протоколов PCIe (Peripheral Component Interconnect Express) внутри карты. В тоже время обеспечивая обратную совместимость с устройствами, поддерживающими стандарт SD. Однако, для работы на максимальной скорости требуется устройство с поддержкой SD Express.
- **Основные характеристики**
 - Максимальная скорость передачи данных до 2 ГБ/с
 - Поддержка интерфейсов PCI-E 4.0 и NVMe
 - Новые классы скоростей: 150, 300, 450 и 600 МБ/с
 - Параллельная обработка множества потоков данных

SD Express. Скорость передачи данных



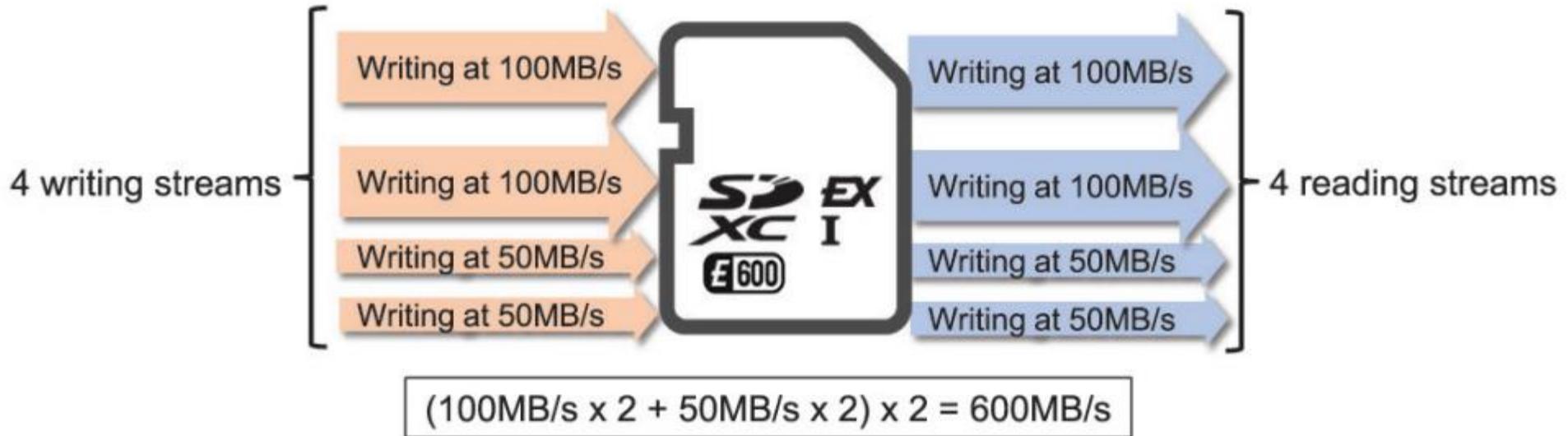
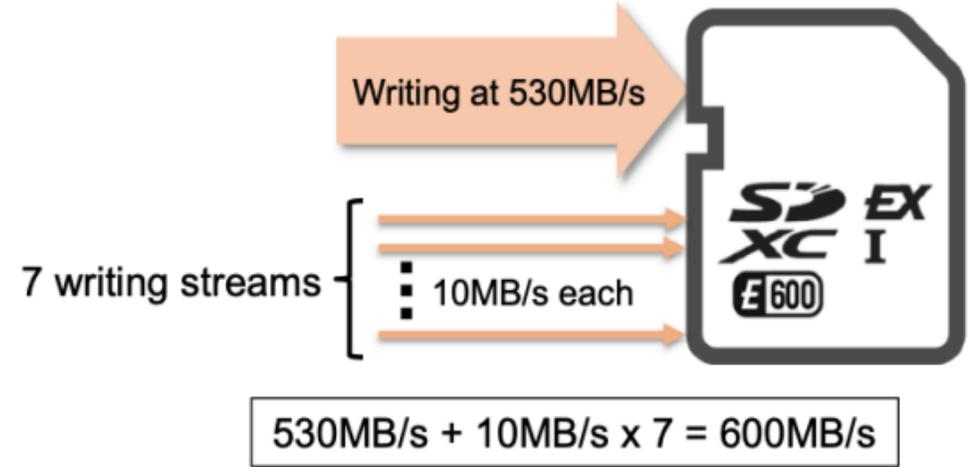
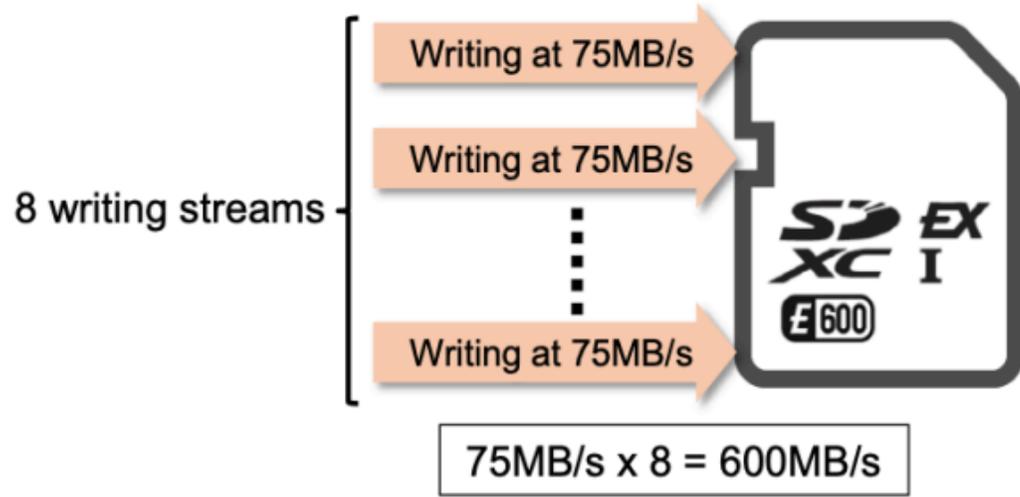
Скорость работы SD-карт - от UHS-I до SD Express

SD Express. Скорость передачи данных



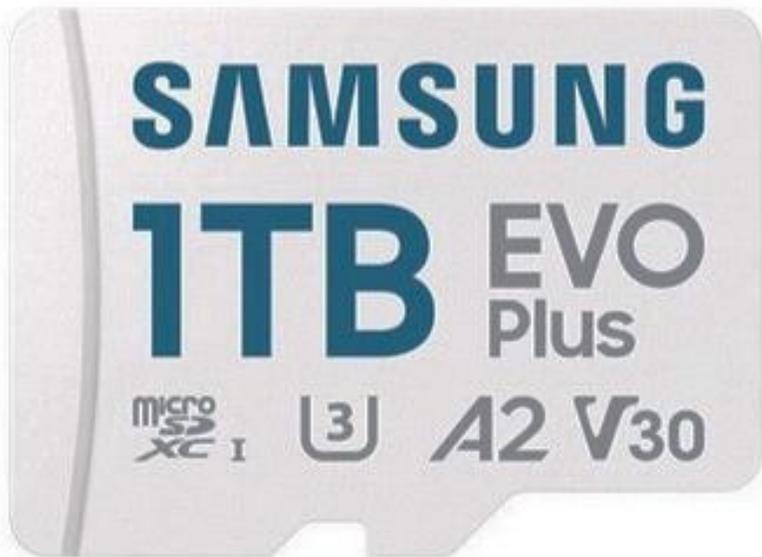
Классы скорости SD Express	Пиктограммы класса скорости SD Express	Минимальная производительность чтения / записи
SD Express Класс скорости 150		150 Мбайт/Сек
SD Express Класс скорости 300		300 Мбайт/Сек
SD Express Класс скорости 450		450 Мбайт/Сек
SD Express Класс скорости 600		600 Мбайт/Сек

SD Express. Скорость передачи данных



Примеры распределения полосы пропускания потока в SD Express Speed Class

SD Express



Выбор карты памяти SD



1 Совместимость и пропускная способность



Up to 2GB



More than 2GB
up to 32GB



More than 32GB
up to 2TB



More than 2TB
up to 128TB

2 Интерфейс шины UHS для передачи данных большого размера

UHS-I **I** UHS-II **II** UHS-III **III**

3 SD Express - революционная инновация для карт памяти SD

Длинная Версия **EXPRESS** Сокращенная версия **EX**

4 Стандарты класса скорости для видеозаписи

Класс скорости SD

E150 **E300** **E450** **E600**

Express

Класс скорости видео

V6 **V10** **V30** **V60** **V90**

Класс скорости UHS

U1 **U3**

Класс скорости

C2 **C4** **C6** **C10**

5 Класс производительности приложения для запуска приложений для смартфонов

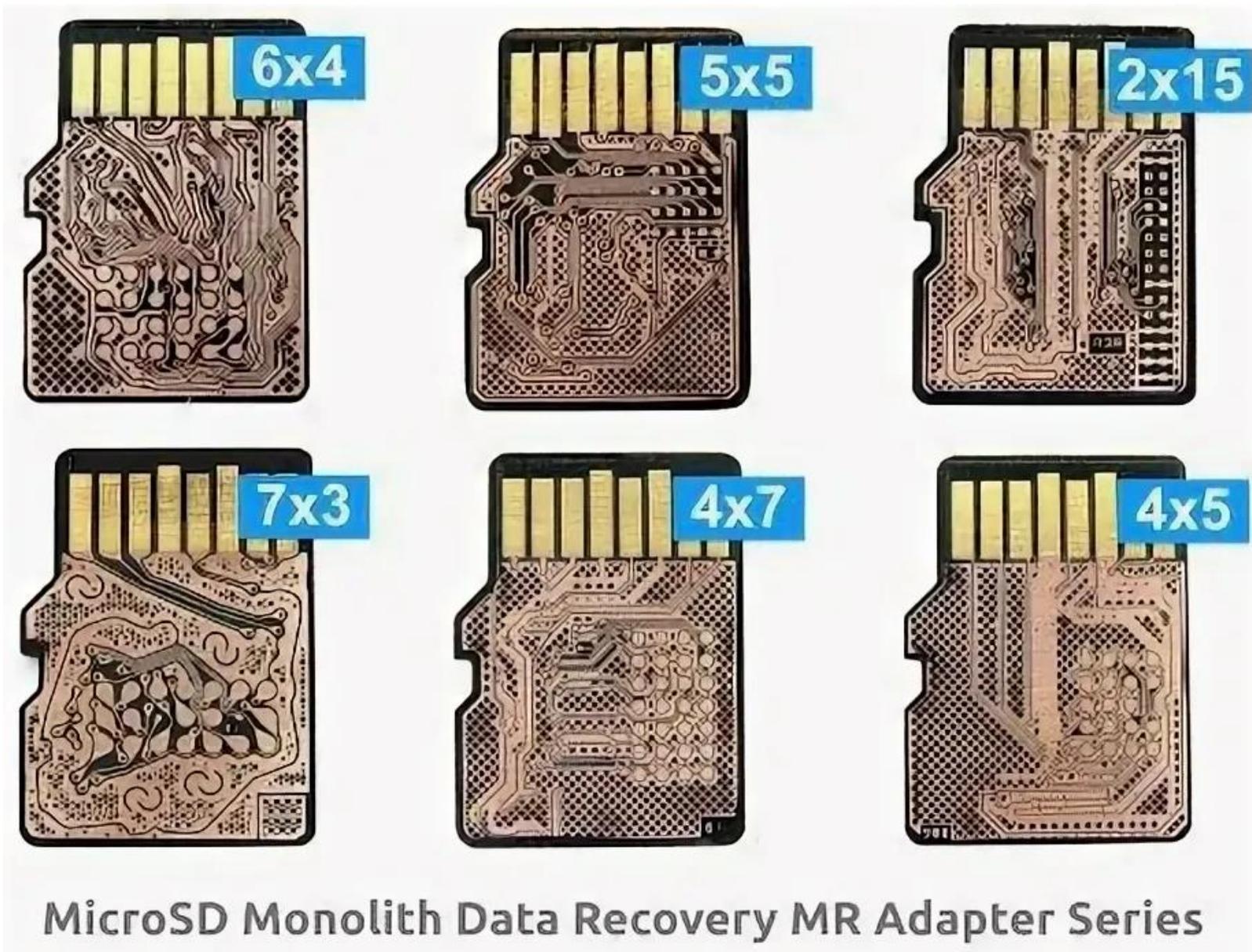
Класс производительности приложения A1

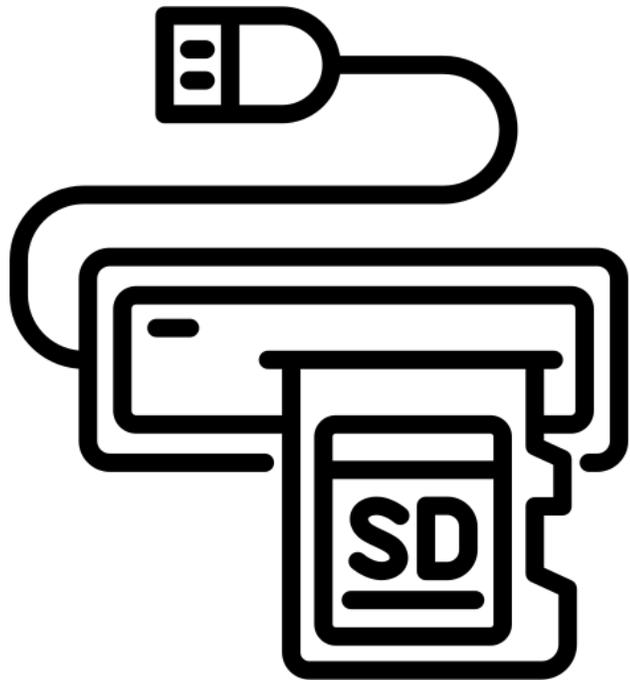
A1

Класс производительности приложения A2

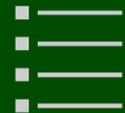
A2

SD Card





Кардридеры (Card reader)



Кардридер

- Кардридер (англ. Card reader, картридер, кард-ридер и пр.) – устройство для чтения карт памяти, а также иных электронных карт самого разного назначения, в частности, смарт-карт, флеш-карт, SIM-карт.



Кардридер (Card reader)



Кардридер ORICO CRS31

Кардридер (Card reader)



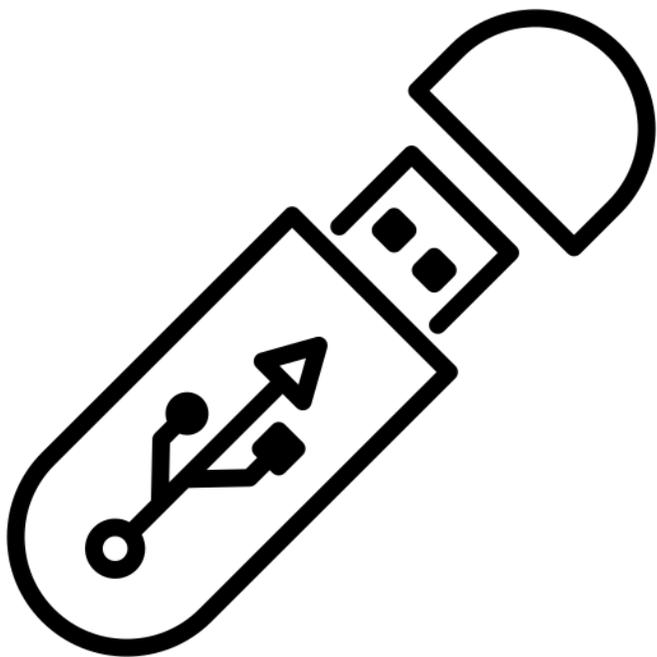
Кардридер (Card reader)



USB HUB

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»





USB-flash накопители

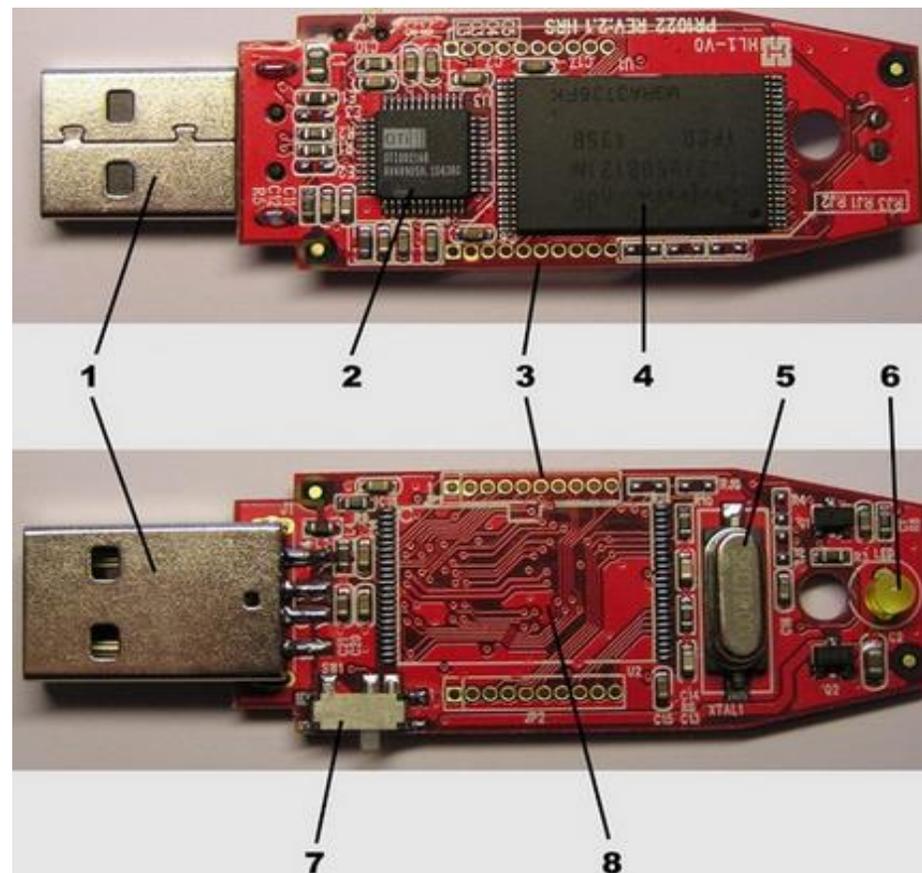


USB-flash



USB-flash

- **USB-flash накопитель** – запоминающее устройство, использующее в качестве носителя флэш-память, и подключаемое к компьютеру или иному считывающему устройству по интерфейсу USB



- 1 – USB-разъём; 2 – микроконтроллер; 3 – контрольные точки;
4 – микросхема флэш-памяти; 5 – кварцевый резонатор;
6 – светодиод; 7 – переключатель «защита от записи»;
8 – место для дополнительной микросхемы памяти.

Конструкция USB-flash накопителя

USB-flash

- **Различают**
 - **по типу используемой flash-памяти** (SLC, MLC, TLC или QLC),
 - **по скоростным возможностям**
 - **и по типу интерфейса:** USB 1.0, USB 2.0 и USB 3.2.
- **USB-flash накопители также можно разделить на категории по** использованию, функциональности или даже уровню безопасности.

USB-flash

- **Могут отличаться оригинальным дизайном:** в виде кредитной карты, брелка, ручки, в виде браслета и т.д.



USB-flash



USB Flash Transcend JetFlash 700 128GB (TS128GJF700)

★★★★★ 3,8 (68) Обсуждение (5)

- 128 ГБ
- USB 3.2 Gen 1 Type-A (5 Гбит/сек)
- с колпачком
- пластик
- цвет черный



USB Flash Kingston Kyson 512GB

★★★★★ 3,8 (48) Обсуждение (7)

- 512 ГБ
 - USB 3.2 Gen 1 Type-A (5 Гбит/сек)
 - без колпачка
 - металл
 - скорость 200/60 МБ/с
- цвет серебристый



USB Flash Hoco UD6 128GB (черный)

Оставьте первый отзыв! Начните обсуждение!

- 128 ГБ
 - USB 2.0 Type-A
 - выдвижной разъем
 - металл
 - скорость 30/10 МБ/с
- цвет черный



USB Flash SanDisk Ultra Dual Drive Luxe USB Type-C 128GB SDDDC4-128G-G46

★★★★★ 4,6 (18) Обсуждение (4)

- 128 ГБ
- USB 3.2 Gen 1 Type-A/Type-C (5 Гбит/сек)
- раскладной корпус
- металл
- цвет серебристый

Onliner.by USB Flash <https://catalog.onliner.by/usbflash>

USB-flash



Структура USB-флэш-накопителя

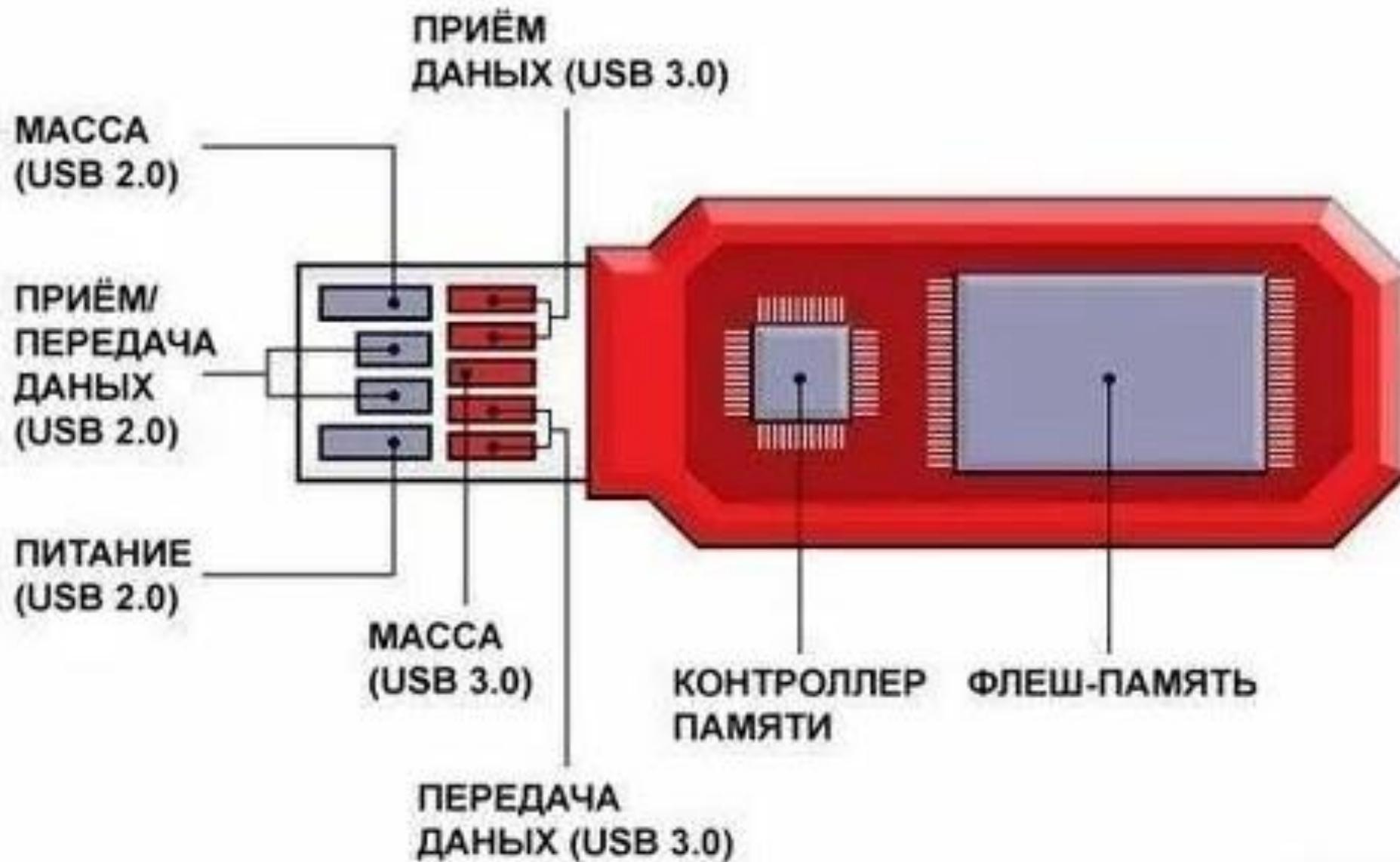
Контроллер

NAND
флэш-память



Основные микросхемы USB-накопителя

USB-flash



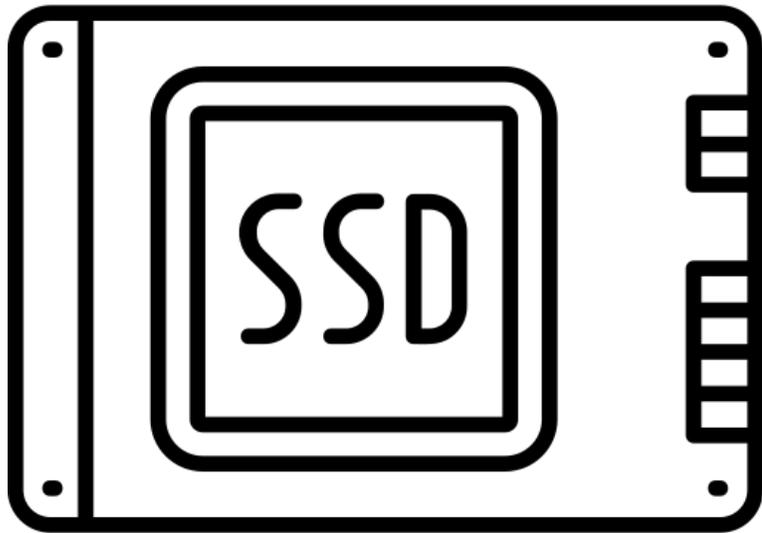
Преимущества и Недостатки

• Преимущества

- Универсальность. Практически все современные устройства имеют USB-разъемы.
- Широкий диапазон рабочих температур.
- Устойчивы к механическим воздействиям и пыли.
- Не создают шумов при работе.
- Низкое энергопотребление.
- Компактный размер.
- Разнообразный внешний вид накопителя.

• Недостатки

- Ограниченную пропускную способность USB, особенно для стандарта USB 2.0.
- Ограниченное число циклов перезаписи.
- Небольшой срок автономного хранения информации.
- Чувствительность к электростатическому разряду.



**SSD (solid-state drive)
или твердотельный
накопитель**



SSD (solid-state drive) или твердотельный накопитель

- **SSD (solid-state drive) или твердотельный накопитель** — запоминающее устройство, появившееся значительно позже HDD, работающее на основе использования микросхем памяти и, в отличие от жесткого диска, не содержащее движущихся частей.



SSD (solid-state drive) или твердотельный накопитель



2.5" SATA



mSATA



M.2



PCIe Add-In Card

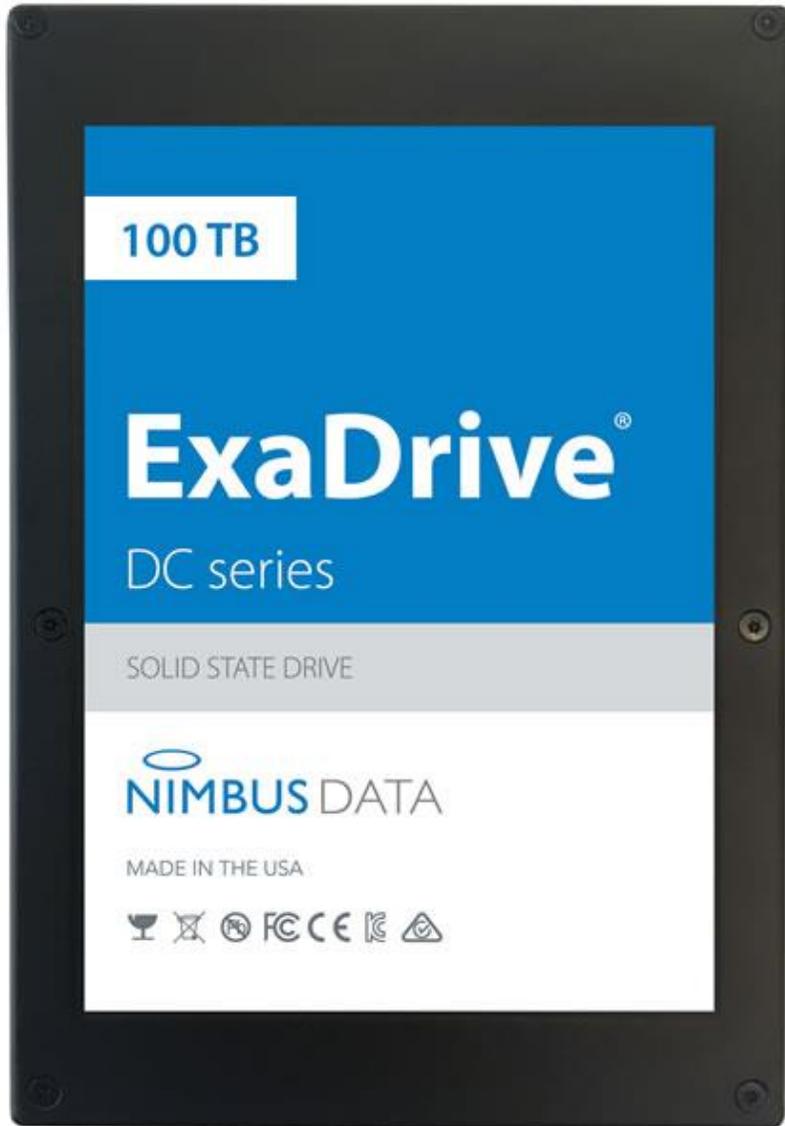
Первый SSD накопитель

- SSD появились задолго до изобретения флэш-памяти.
- Ведь что такое, по сути, Solid State Drive?
- Это накопитель информации, который не содержит каких-либо механических компонентов.
- Таким образом, самым **первым в мире SSD можно назвать творение корпорации Dataram с гордым названием Bulk Core, представленное в 1976 году.**
- Стальное шасси габаритами 19 на 15.75 дюймов содержало 8 планок энергозависимой RAM-памяти, каждая из которых имела объем 256 килобайт.
- Стоил на старте 9700 долларов США.



Dataram Bulk Core — самый первый SSD

SSD диск 3,5" объемом 100 ТБ NIMBUS DATA



	EDDCX016	EDDCX032	EDDCT064	EDDCT100
Basics				
Capacity / Flash Type	16 TB (eTLC flash)	32 TB (eTLC flash)	64 TB (eTLC flash)	100 TB (eTLC flash)
Interface	SATA-3 (6 Gbps) port, compatible w/SAS and SATA-2		SATA-3 (6 Gbps) port, compatible w/SAS	
Form Factor	2.5" SFF 15mm	Elongated 2.5" 15mm*	3.5" LFF	
Reliability				
Endurance	Unlimited DWPD for 5 years			
Reliability	MTBF: 2.5 million hours, UBER: 10^{-17}			
Power Loss Protection	Yes (using embedded capacitors)			
Warranty	Limited 5-year warranty			
Performance				
Latency	0.1 ms	0.1 ms	0.1 ms	0.1 ms
Sequential Read (1 MB)	540 MBps	540 MBps	500 MBps	500 MBps
Sequential Write (1MB)	510 MBps	500 MBps	460 MBps	460 MBps
Random Read (4 KB)	70K IOps	70K IOps	95K IOps	114K IOps
Random Write (4 KB)	30K IOps	32K IOps	90K IOps	106K IOps
Power				
Active Power (watts)	9.0 W	10.2 W	13.8 W	16.8 W
Idle Power (watts)	3.9 W	4.4 W	7.2 W	11.1 W
Active Power per TB	0.56 W per TB	0.32 W per TB	0.28 W per TB	0.17 W per TB
Idle Power per TB	0.24 W	0.14 W	0.14 W	0.11 W
Dimensions				
Temperature (operating)	0 - 50 degrees C			
Size (L x W x H)	100.0 x 69.75 x 14.8 mm	111.0 x 69.75 x 14.8 mm	147.0 mm x 101.8 mm x 26.1 mm	
Weight	57 grams (0.13 lb)	77 grams (0.17 lb)	480 grams (1.06 lb)	533 grams (1.18 lb)

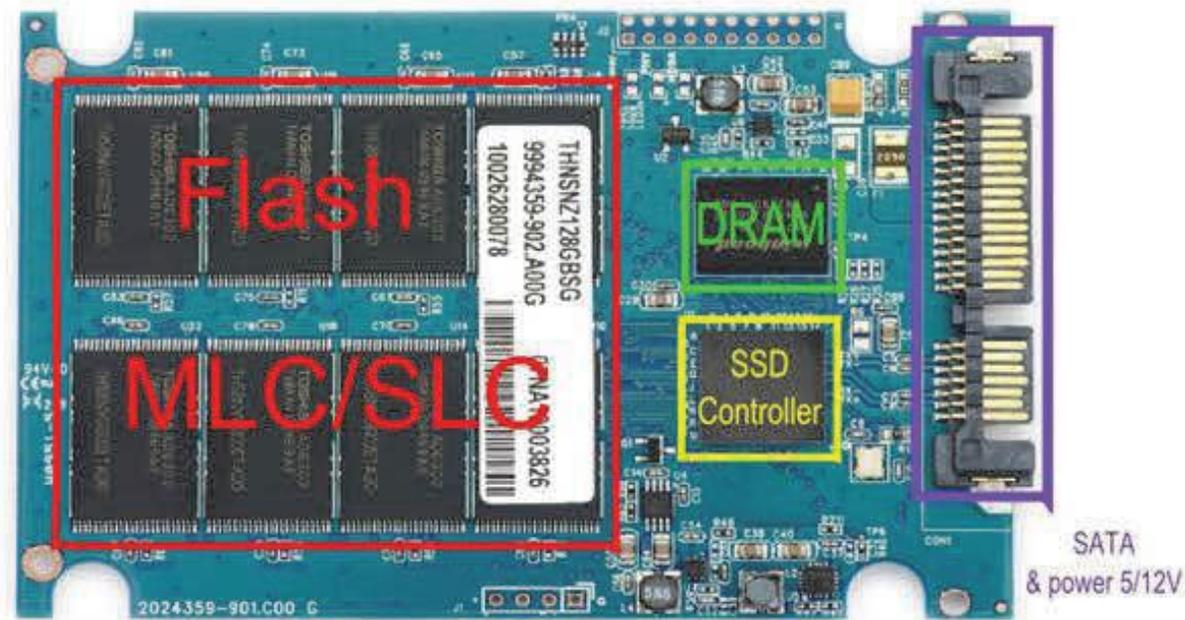
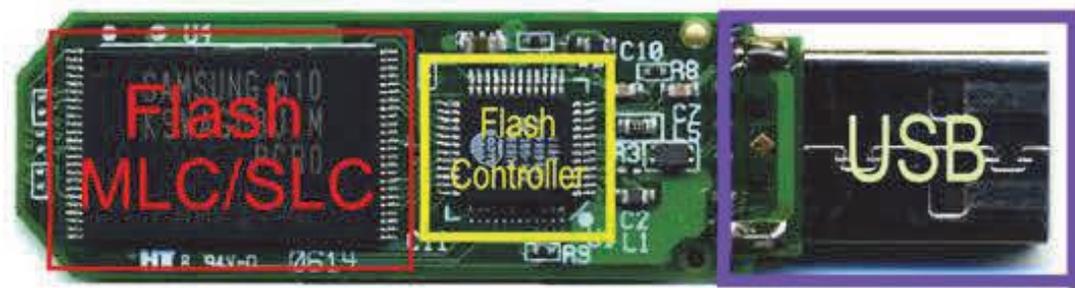
Nimbus ExaDrive DC EDDCT100 Specifications <https://nimbusdata.com/products/exadrive/specifications/>
 This 100TB SSD Costs \$40,000 <https://www.youtube.com/watch?v=ZFLiKCIKKhs>

2.5" SSD в разобранном состоянии



SSD (solid-state drive)

- Конструктивно SSD имеет много общего с обычной флешкой.
- Это печатная плата, на которой распаяны несколько энергонезависимых запоминающих микросхем, контролер, управляющий их работой, буфер, а также "вспомогательные" элементы, обеспечивающие питание, обмен данными с материнской платой и т.д.
- По сути, от флешки SSD отличается только продвинутой логикой обработки процессов, более высокими скоростями чтения /записи и большим объемом хранимых данных.



Внутренние платы USB-flash (сверху) и SSD (снизу) накопителей

SSD



SSD

- Комитет по стандартам JEDEC в своих определениях SSD исходит из таких показателей:
 - **серверные SSD** – те, что могут работать в режиме 24/7 при температуре до 55⁰ ;
 - **клиентские SSD** – предназначенные для работы 8 часов в день при температуре до 40⁰.

Комитет инженерной стандартизации полупроводниковой продукции JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council) - это организация, занимающаяся разработкой открытых стандартов для полупроводниковой продукции и технологий, включая компьютерную память и другие электронные устройства.

Официальный сайт JEDEC доступен по следующему адресу: <https://www.jedec.org>

SSD

Каталог [Объявления](#)

Сборки ПК от эксперта Onliner. Обновленная подборка >

104 858 просмотров

от 480 ГБ ×

[Сначала новые](#) ↕ Prime

Доставка со склада Onliner в удобное для вас время

 Minipay

Оплата товаров мини-платежами раз в месяц

 Суперцена 🔥 Доставка в Минск С доставкой по Беларуси Onliner рекомендует

Производитель

<https://catalog.onliner.by/ssd>

SSD Gigabyte 2TB GSSD2000G

★★★★★ 4,2 (174) Обсуждение (19)

- 2 ТБ
- 2.5"
- SATA 3.0
- микросхемы 3D TLC NAND
- последовательный доступ: 550/500 МБайт/с
- случайный доступ: 75000/85000 IOPS

Нет в наличии



SSD AMD Radeon R3 480GB R3MS0480G8

Оставьте первый отзыв! Начните обсуждение!

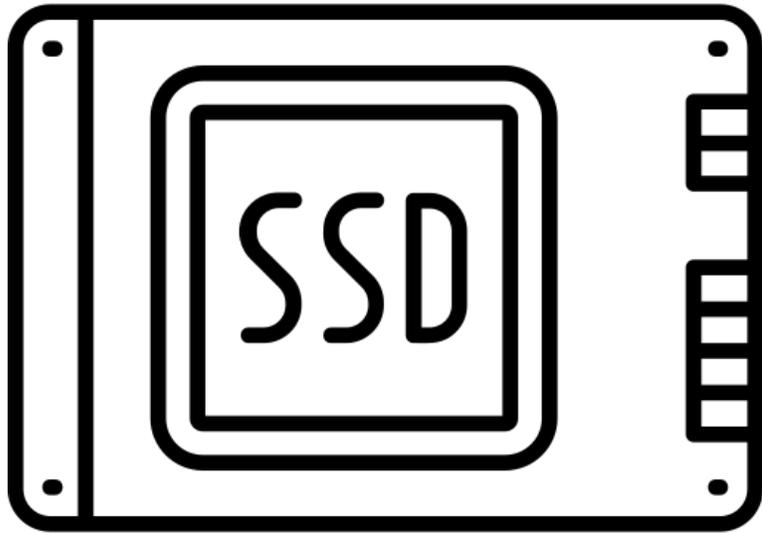
- 480 ГБ
- M.2 2280
- SATA 3.0
- последовательный доступ: 550/480 МБайт/с

от **99,33 р.**

👉 Вернем до 5% на «Клевер»

👉 Оплата частями Minipay от 3,07 р./мес.

3 предложения



SSD. Форм фактор



Форм-фактор SSD HDD

- **Твердотельные накопители SSD HDD выпускаются в форм-факторах:**

- 1. 2.5 дюйма (SATA),
- 2. M.2 и M.2 (NVMe),
- 3. U.2 (NVMe)
- 4. в форме модуля расширения для разъема PCI-e (NVMe)
- и другие.

- Поскольку в SSD-накопителях нет движущихся частей, они имеют больше вариантов форм-фактора по сравнению с жесткими дисками.
- Можно найти несколько версий одного и того же SSD-накопителя с одинаковыми характеристиками производительности в различных вариантах исполнения и выбрать тот форм-фактор, который подойдет лучше всего.

Форм-фактор SSD HDD

Types of SSD

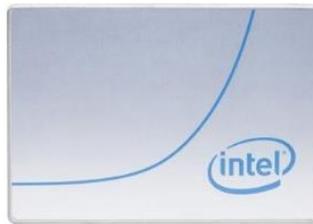
SATA 2.5"



SAS 2.5"



U.2



M.2 SATA



M.2 NVMe



NVMe PCIe



Физическое подключение

SATA

SAS

U.2

M.2

PCIe

Протокол

SATA

SAS

PCIe

SATA

PCIe

Технология

SATA

SAS

NVMe

SATA

NVMe

Форм-фактор

2.5"

M.2

PCIe AIC (Add-In-Card, like GPUs)

SSD работают на основе чипов NAND-памяти, но отличаются логическим интерфейсом обмена данными, размером, физическим коннектором и скоростью чтения и записи.

Форм-фактор SSD – 2.5 дюйма (SATA)



Форм фактор SSD SATA

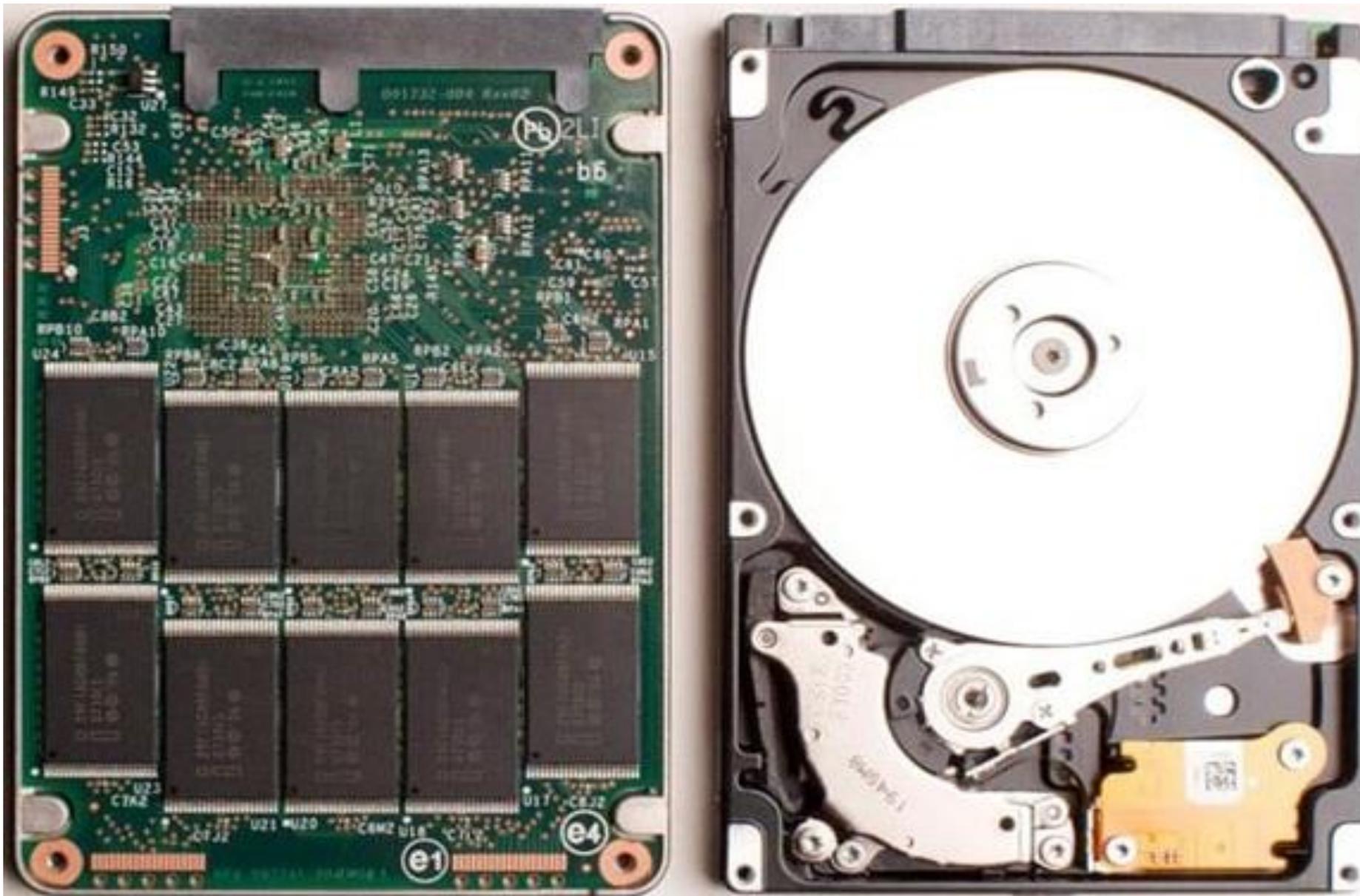


SSD 2.5"



SSD 1.8"

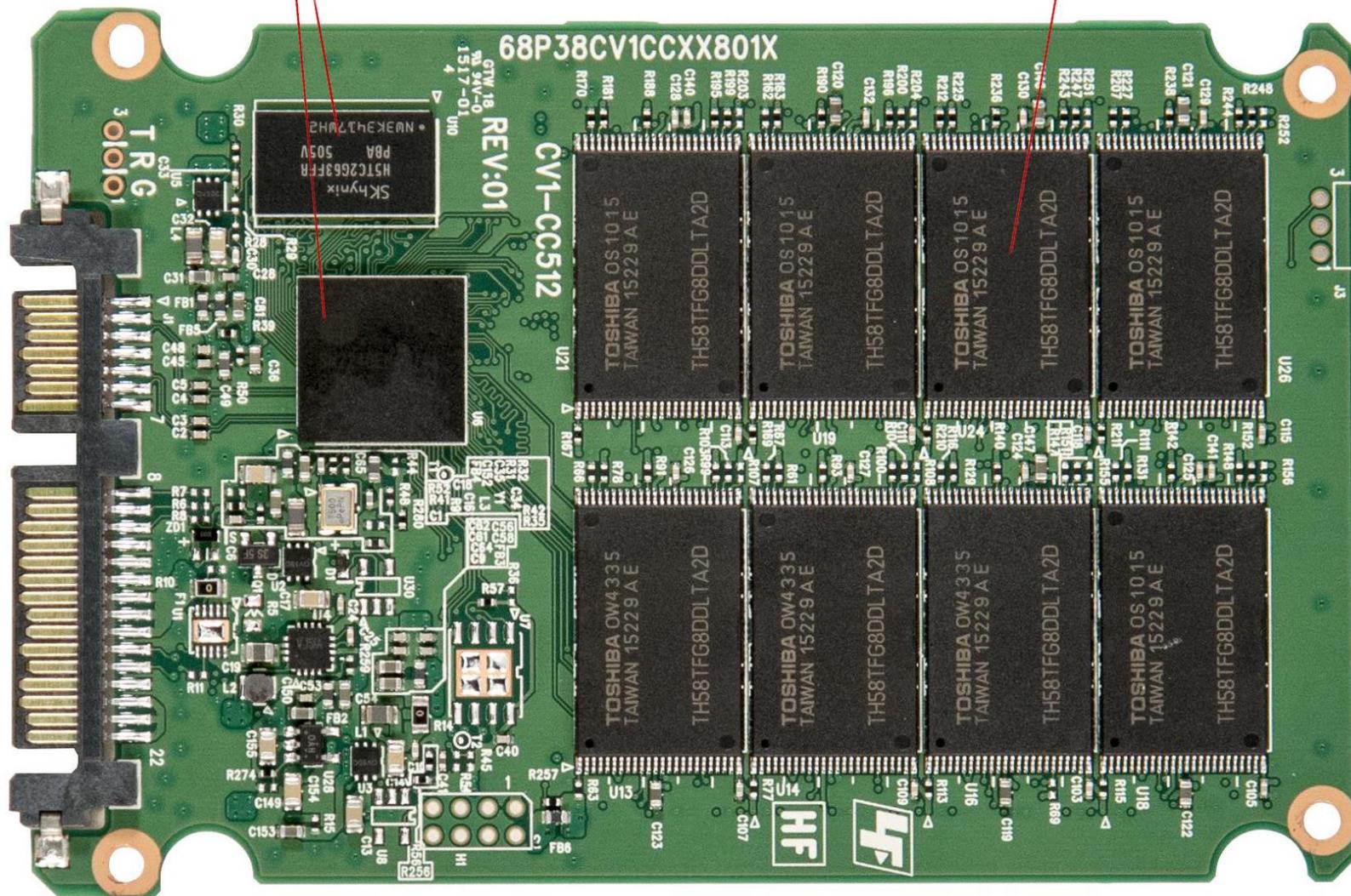
Сравнение SSD и HDD



SSD 2.5" без корпуса

Контроллер и буфер

Микросхемы памяти



SSD 1.8"

- У 2.5" есть и младший брат: **форм-фактор 1.8 дюймов**. Данный форм-фактор использует для подключения mSATA и был распространен в ноутбуках.



Форм-фактор SSD – M.2

- **M.2 (NGFF – Next Generation Form Factor)** – могут варьироваться: ширина, длина, высота (2242, 2260, 2280 – H22 мм x L80 мм), вид ключа и **поддерживаемые интерфейсы (PCIe, SATA, NVMe)**
- Накопители SSD M.2 подключаются в специальные слоты, без кабелей питания или шлейфов. Питаются от материнской платы.
- **M.2 PCIe** – специальные платы расширения с накопителями M.2 устанавливаемые в PCIe слоты материнской платы.
- **M.2 NVMe** - делятся на 4 основных вида: 2230, 2242, 2260, 2280, где первые две цифры обозначают ширину планки, а две последние – длину.
- **M.2 SATA** - накопители этого типа подключаются к разъему M.2, но для обмена данными используют интерфейс SATA, хотя бывают и универсальные решения, и тогда их пропускная способность будет зависеть от вашей материнской платы.
- NVMe — это протокол передачи данных, тогда как NGFF (M.2) — физический форм-фактор.

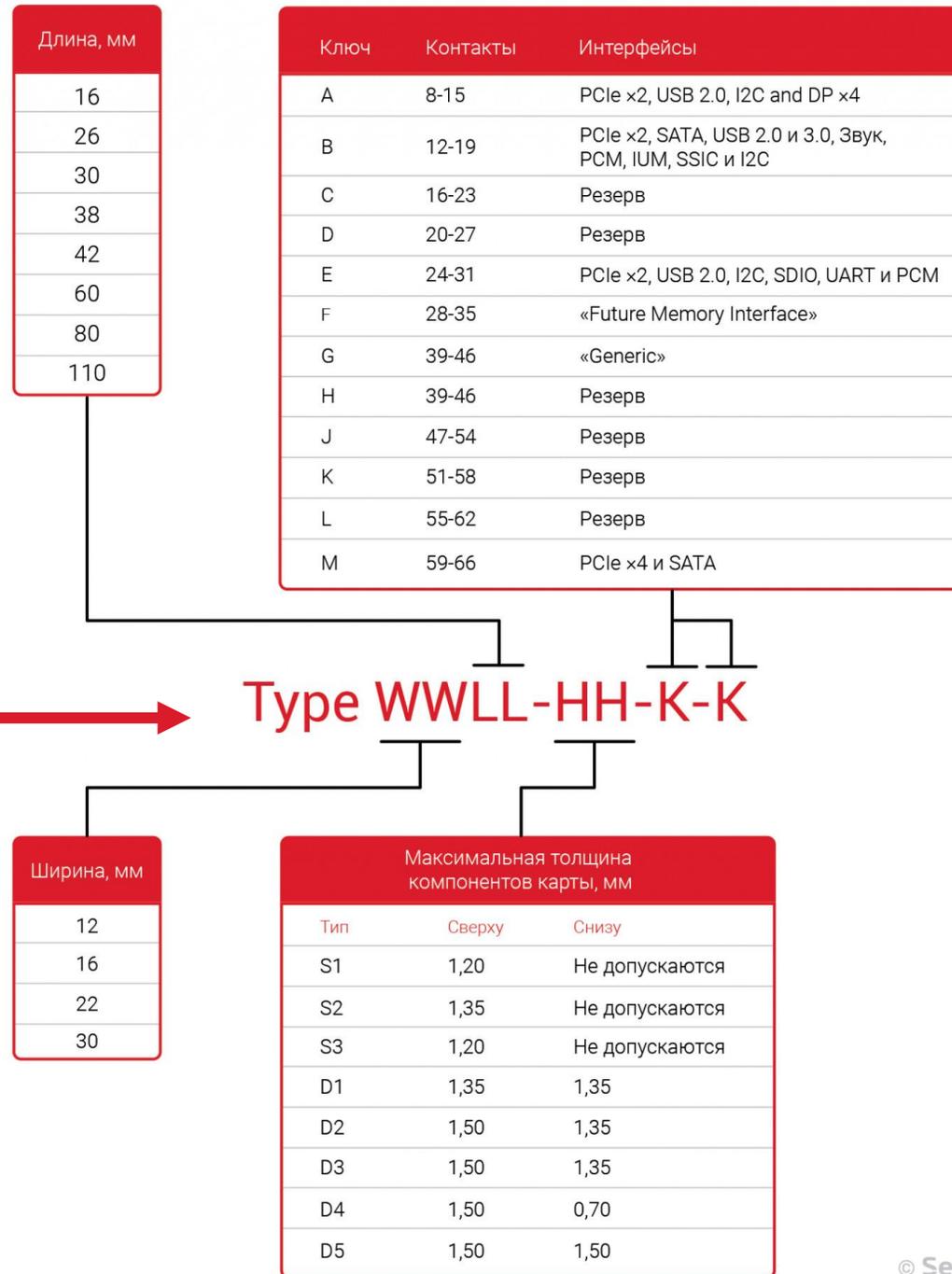
Форм-фактор SSD – M.2 (NGFF)

- **NGFF (Next Generation Form Factor)**, также известный как **M.2**, — это форм-фактор для SSD, который заменяет mSATA.
- NGFF предлагает гибкость в плане размеров и подключения, что позволяет производителям создавать более компактные и производительные варианты.
- M.2 может использоваться как для SATA, так и для PCIe x4 интерфейсов, что делает его универсальным решением для различных устройств.
- **Основные характеристики NGFF:**
 - **Разнообразие размеров.** M.2 имеют различные длины и ширины, например, 2242, 2260, 2280 и 22110, где первые две цифры обозначают ширину (22 мм), а последние — длину (42, 60, 80 или 110 мм). Поэтому накопители M.2 можно использовать как в полноразмерных настольных компьютерах и серверах, так и компактных устройствах с ограниченным пространством. Это позволяет производителям создавать тонкие и легкие устройства без ущерба для скорости работы.
 - **Поддержка и SATA-, и PCIe-интерфейсов.** Благодаря поддержке обоих интерфейсов малый форм-фактор M.2 является гибким и универсальным решением для хранения данных на широком спектре устройств, от ультрабуков до серверов.
 - **Возможность установки NGFF-дисков большим числом** (целых 3), чем SATA-дисков 2,5" (количество которых, как правило, — 1 в ультрабуке и 2 в ноутбуке).

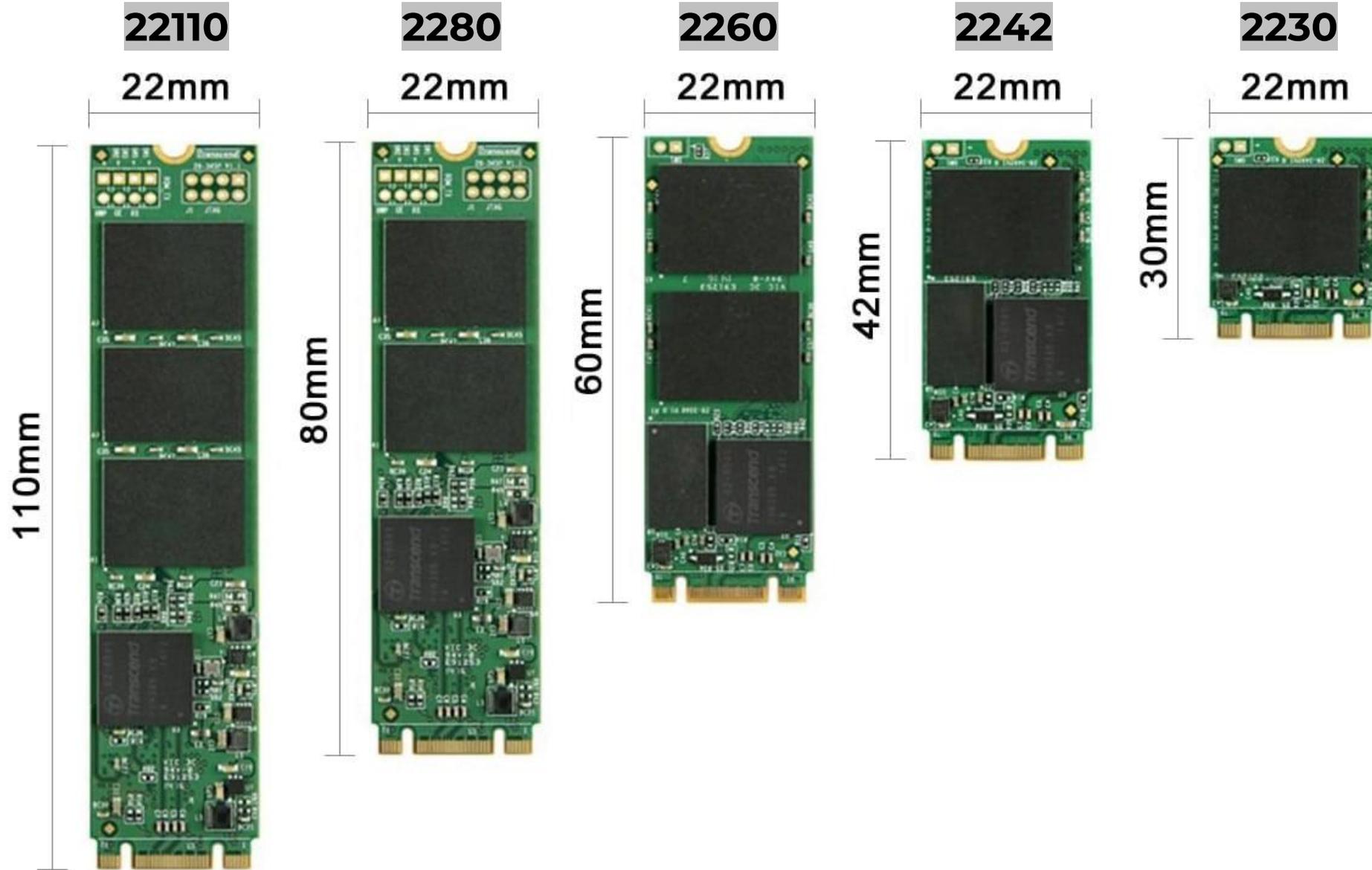
Форм-фактор SSD - M.2

- M.2 предоставляет максимальную гибкость при сборке ПК.
- Следующие характеристики устройства могут варьироваться:
 - ширина;
 - длина;
 - высота;
 - вид ключа и поддерживаемые интерфейсы.
- **Точный размер и тип ключа можно узнать по типу устройства.**

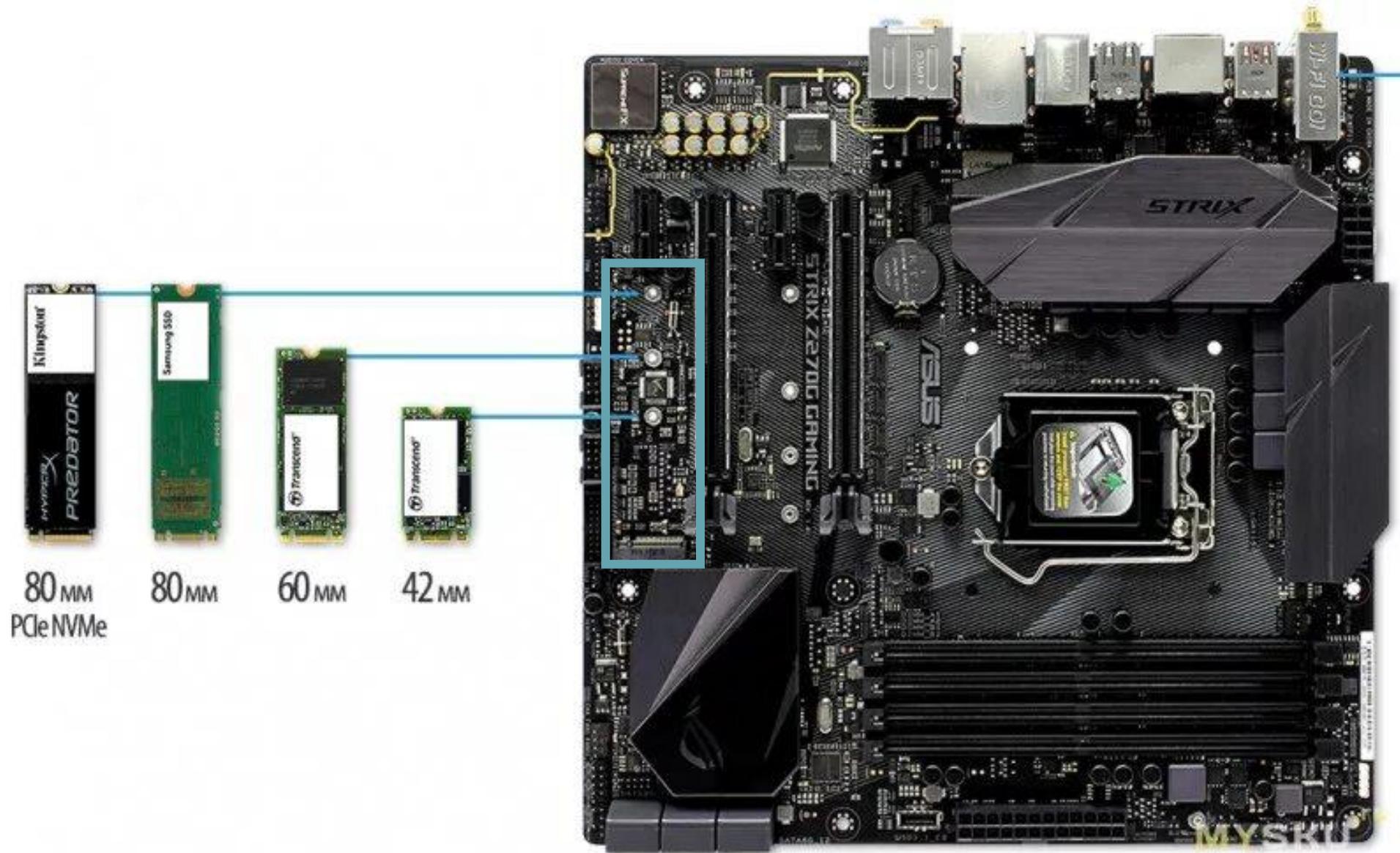
• Несмотря на то, что M.2-устройство часто фиксируется винтом, **интерфейсы M.2 поддерживают «горячую замену»**. Таким образом, замена на «горячую» возможна, если устройство и материнская плата поддерживают такую возможность.



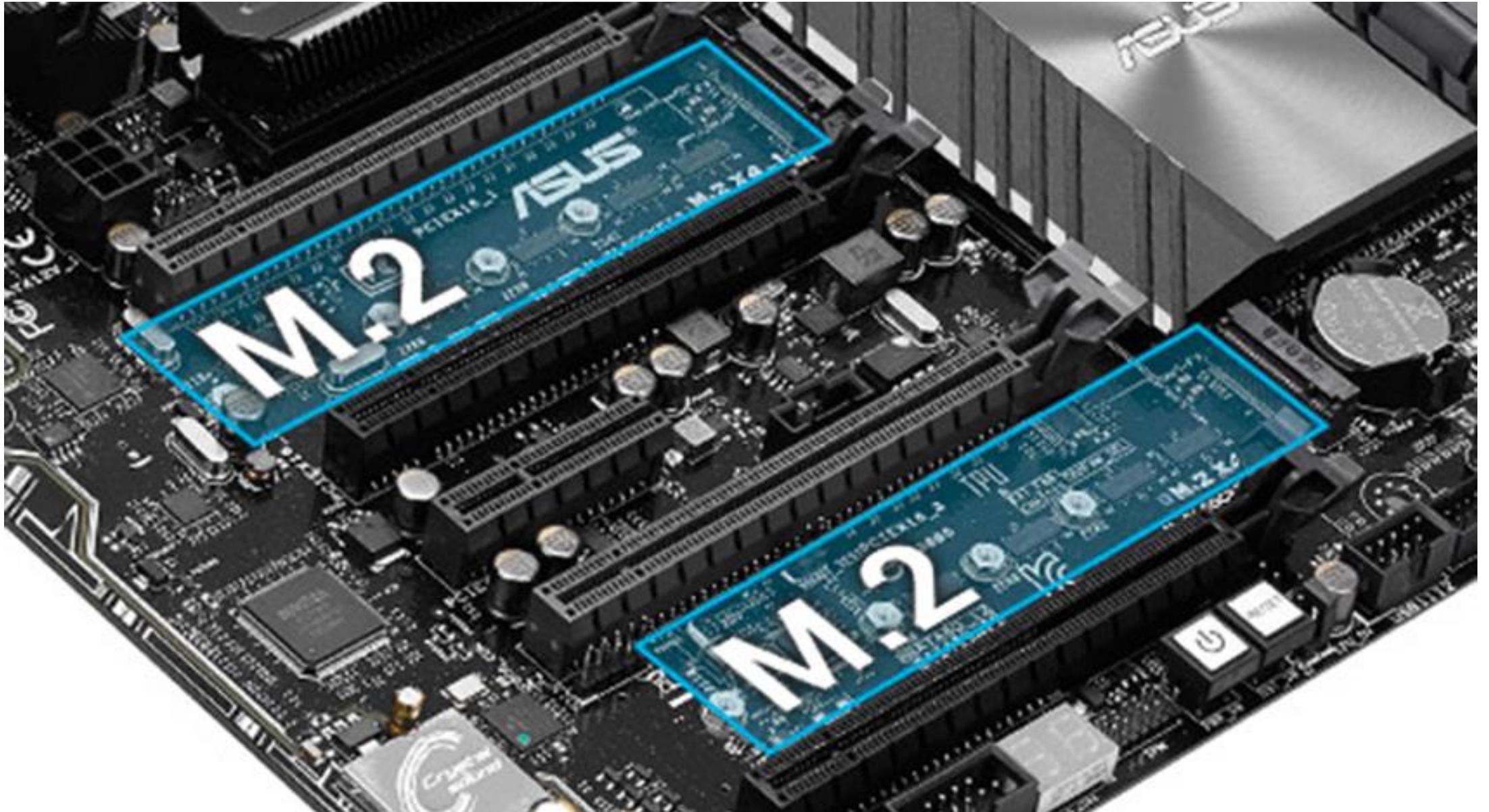
Форм-фактор SSD M.2 (SATA)



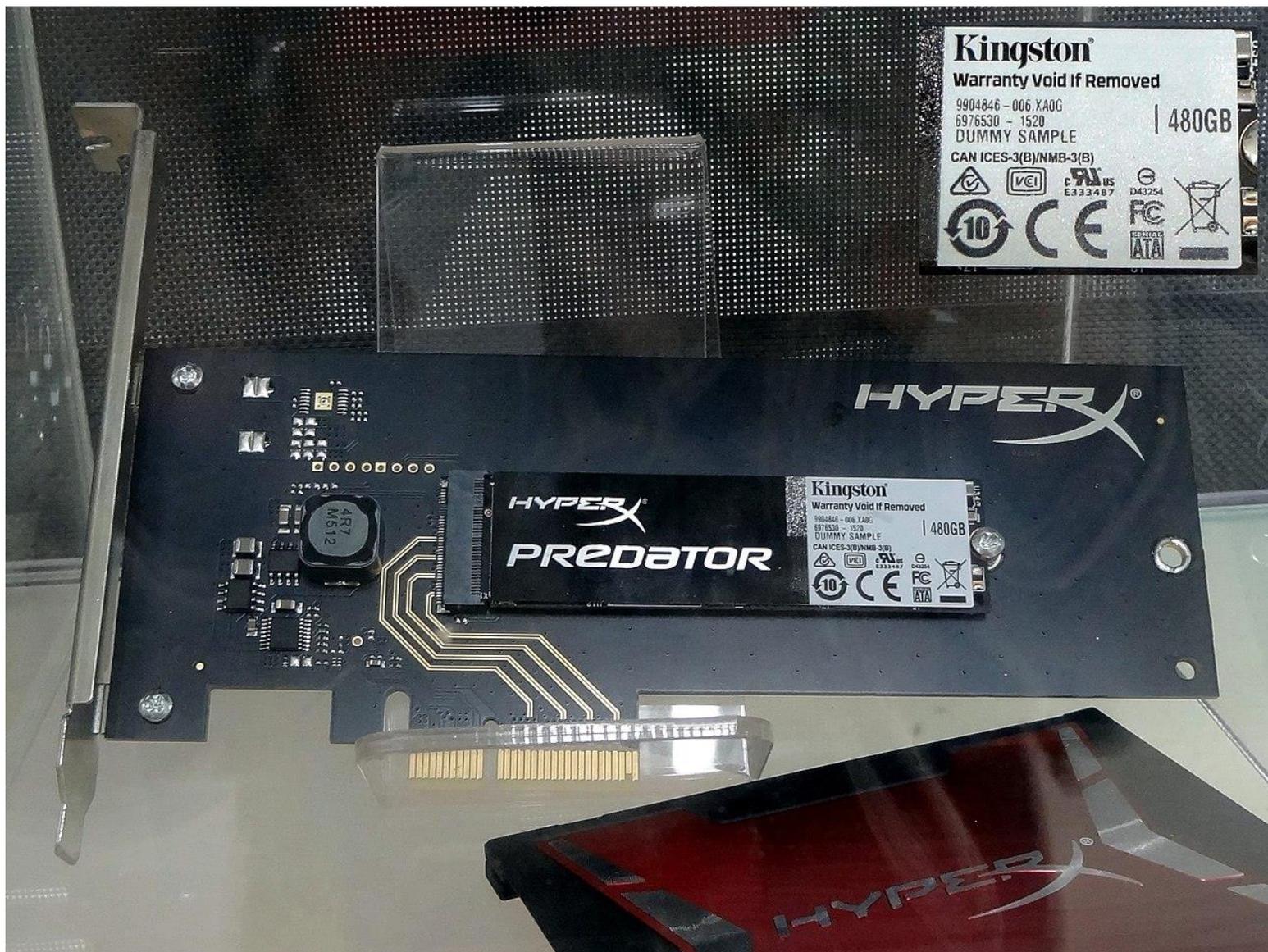
Форм-фактор SSD M.2 (SATA)



Форм-фактор SSD M.2



Форм-фактор SSD M.2 (PCIe)

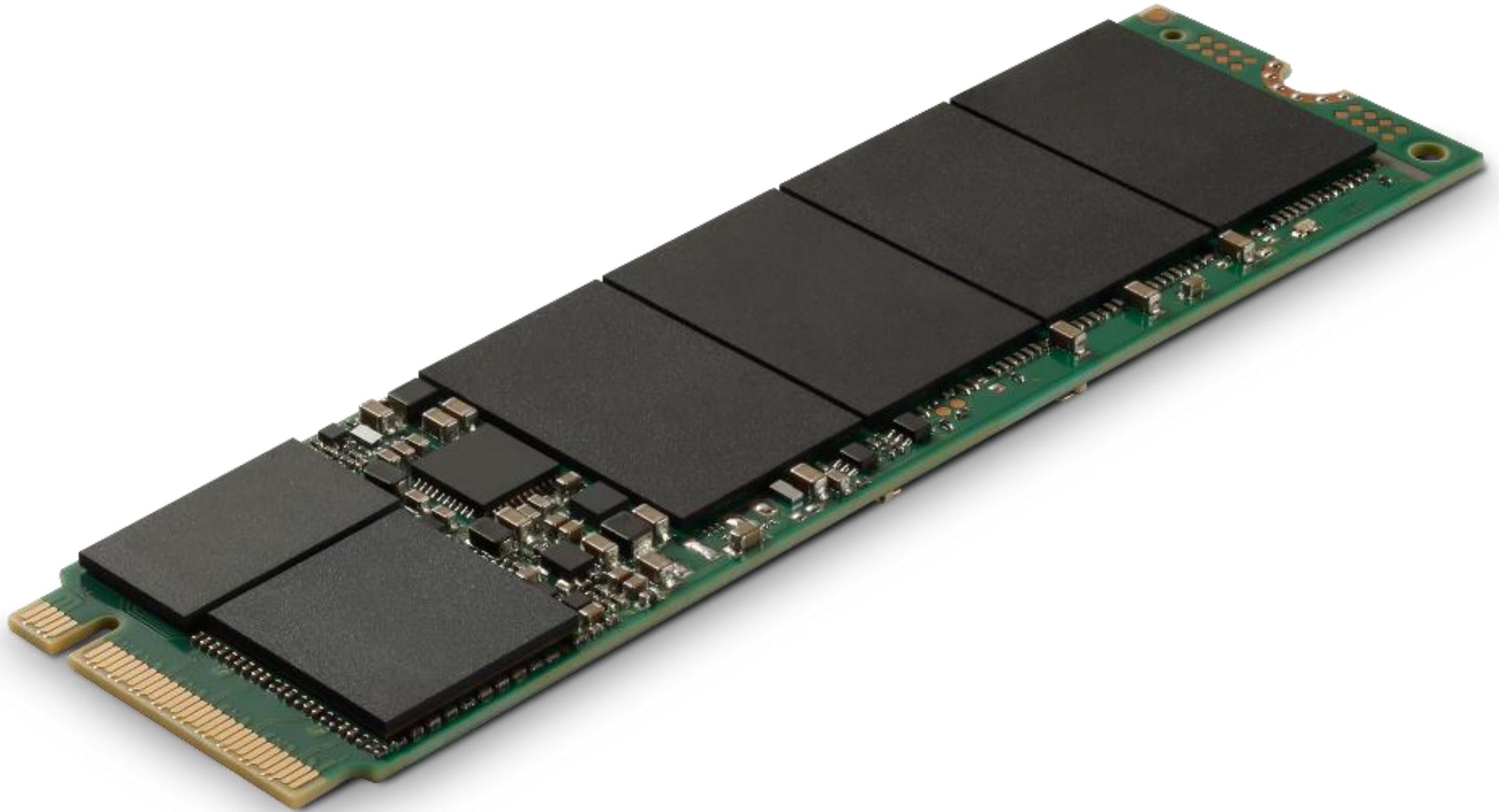


SSD-накопитель M.2 форм-фактора 2280, ключ M, установленный в пассивный переходник HHL для слота PCI-express 4x

Форм-фактор SSD M.2 (PCIe)



Форм-фактор SSD M.2 NVMe



Форм-фактор SSD M.2 (NVMe и SATA)



M.2 NVMe



M.2 SATA

Форм-фактор SSD M.2 (NVMe и SATA)

Ключи M.2 SSD



Ключ В
ширина 6 контактов

Ключ М
ширина 5 контактов

SATA M.2 SSD (ключи В+М)



Ключ М
ширина 5 контактов

NVMe M.2 SSD (ключ М)

Форм-фактор SSD M.2 (NVMe и SATA)

ТИПЫ M.2 SSD НАКОПИТЕЛЕЙ

PCI-E M.2
(NVMe)



← M КЛЮЧ

ЧТЕНИЕ - 3400 МБ/С, ЗАПИСЬ - 1500 МБ/С

SATA M.2

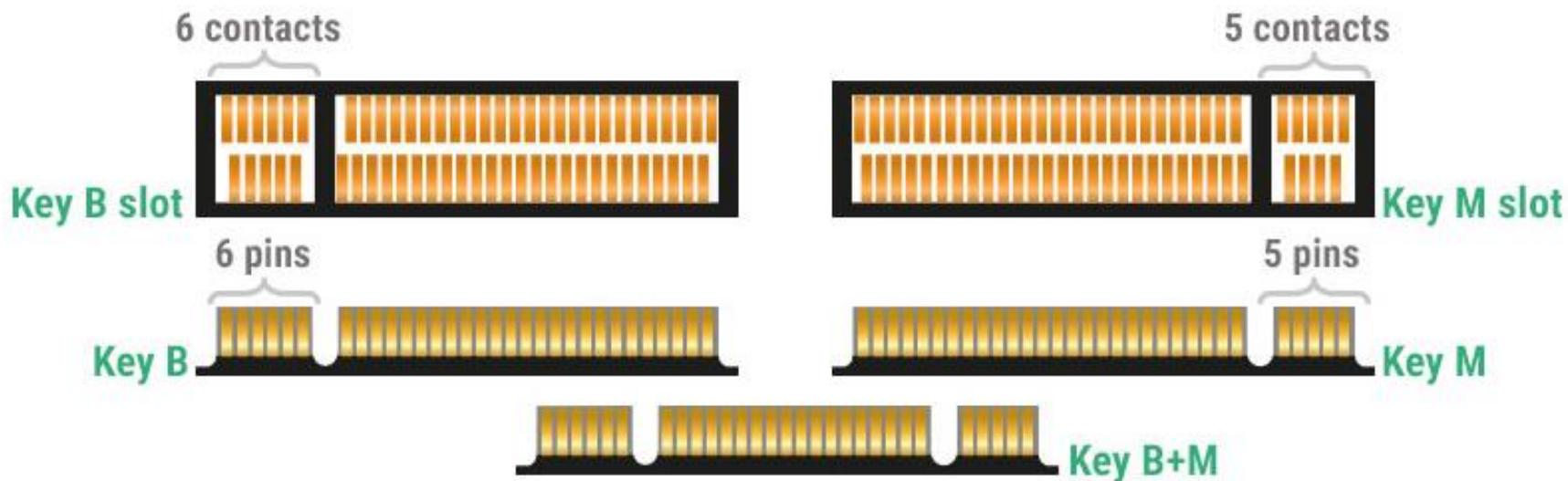


← B КЛЮЧ

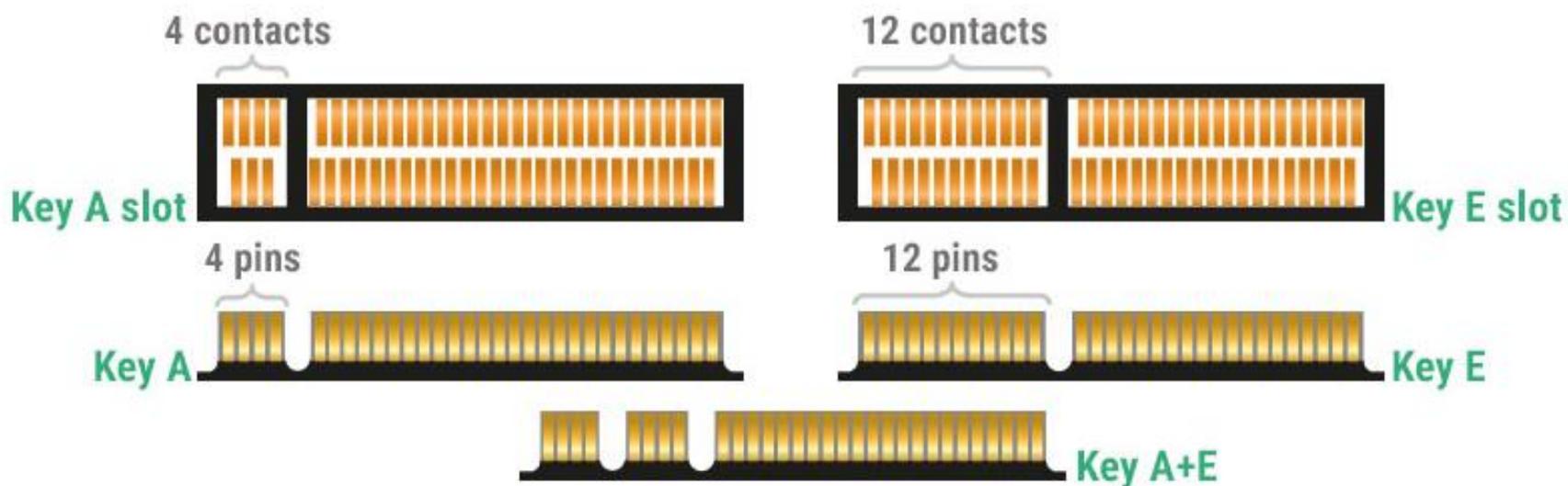
← M КЛЮЧ

ЧТЕНИЕ - 550 МБ/С, ЗАПИСЬ - 520 МБ/С

Разъемы M.2 (Next Generation Form Factor, NGFF)



Schematic figure of contact shapes of Key B, Key M, Key B+M



Форм-фактор SSD M.2 (NVMe)



SSD M.2 (NVMe) на материнской плате



SSD M.2 (NVMe) + (SATA)

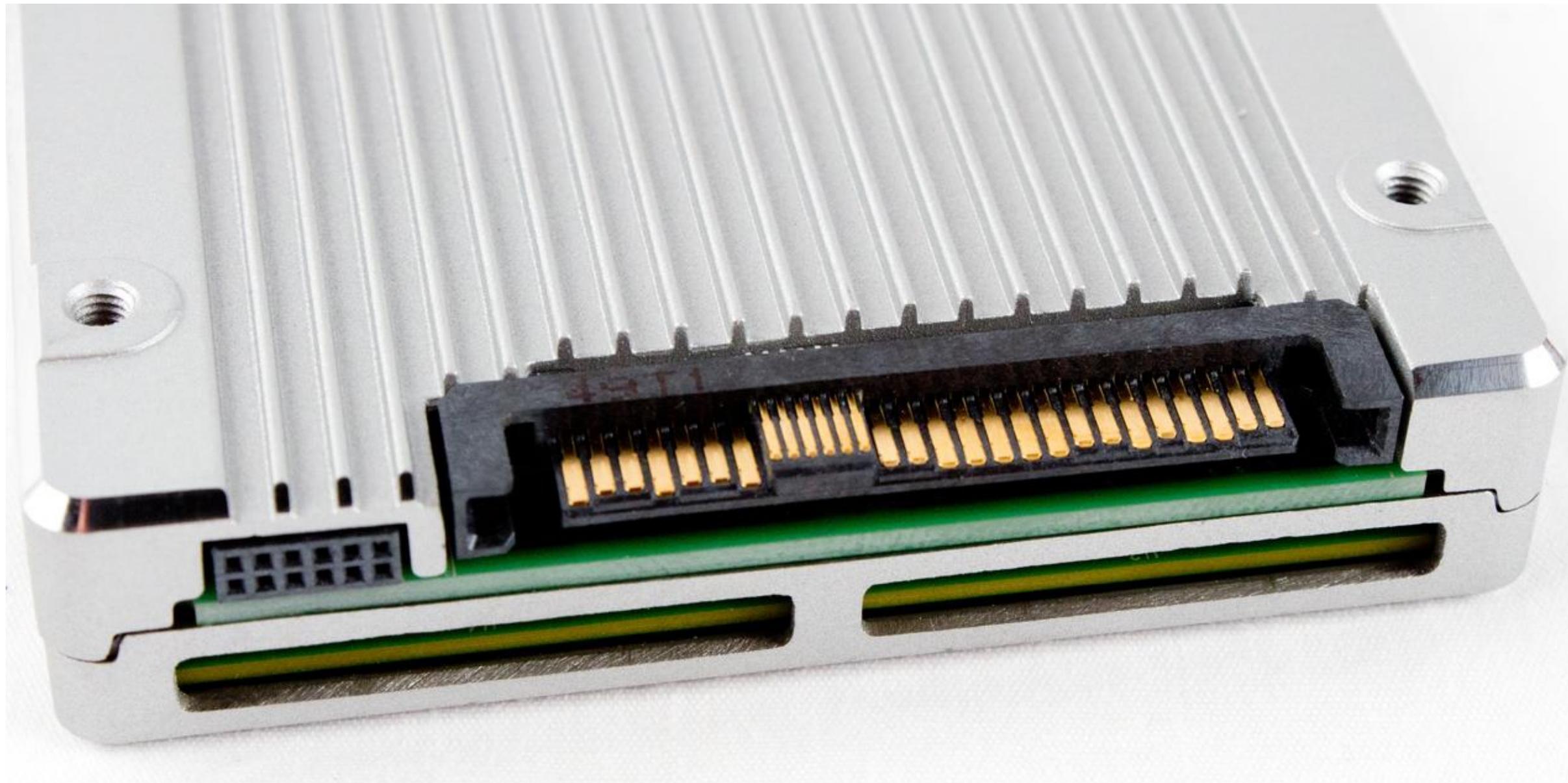


Форм-фактор SSD – U.2 (NVMe)

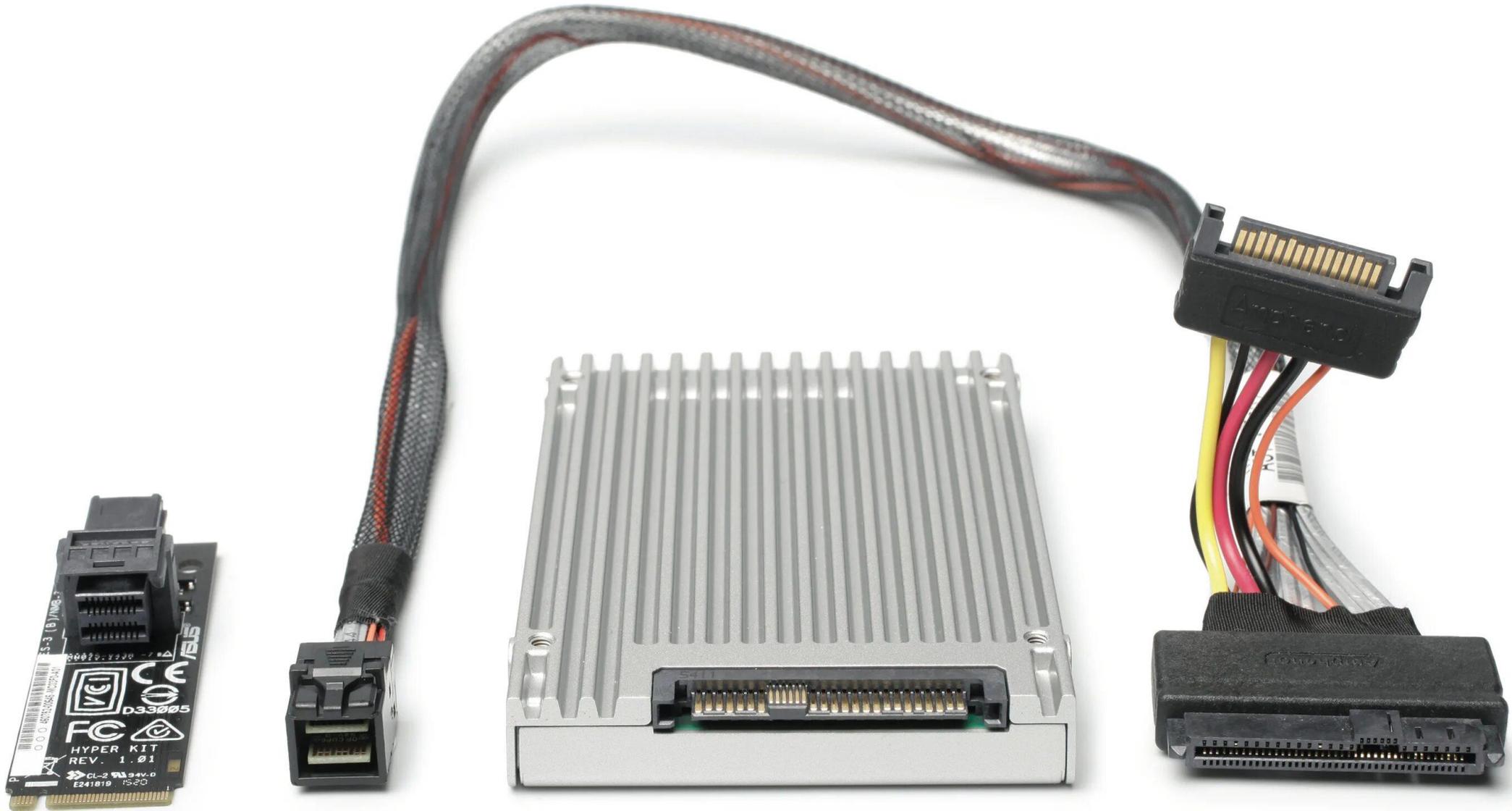


2,5" SSD с разъёмом U.2

Форм-фактор SSD – U.2 (NVMe)

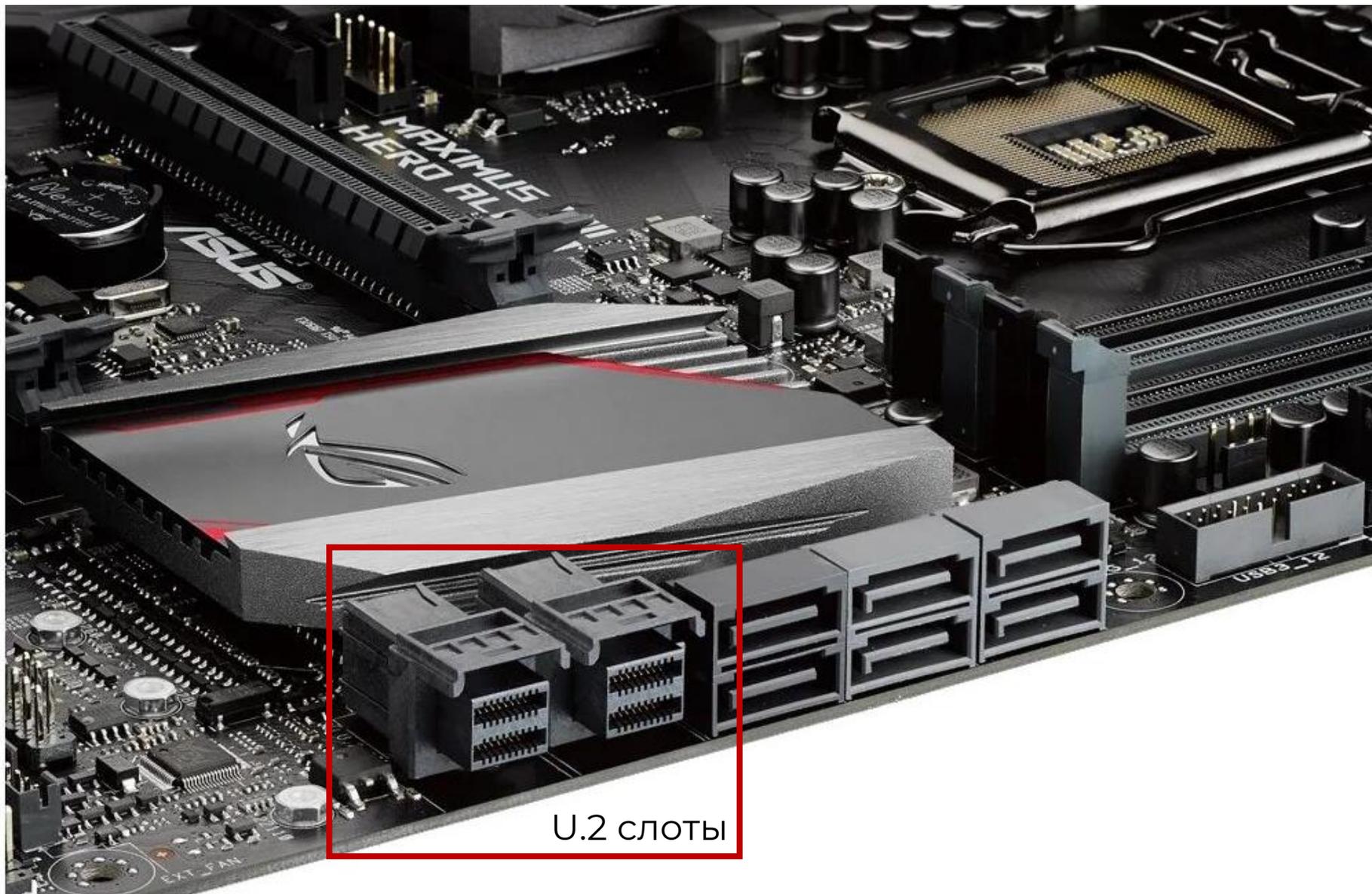


Форм-фактор SSD – U.2 (NVMe)

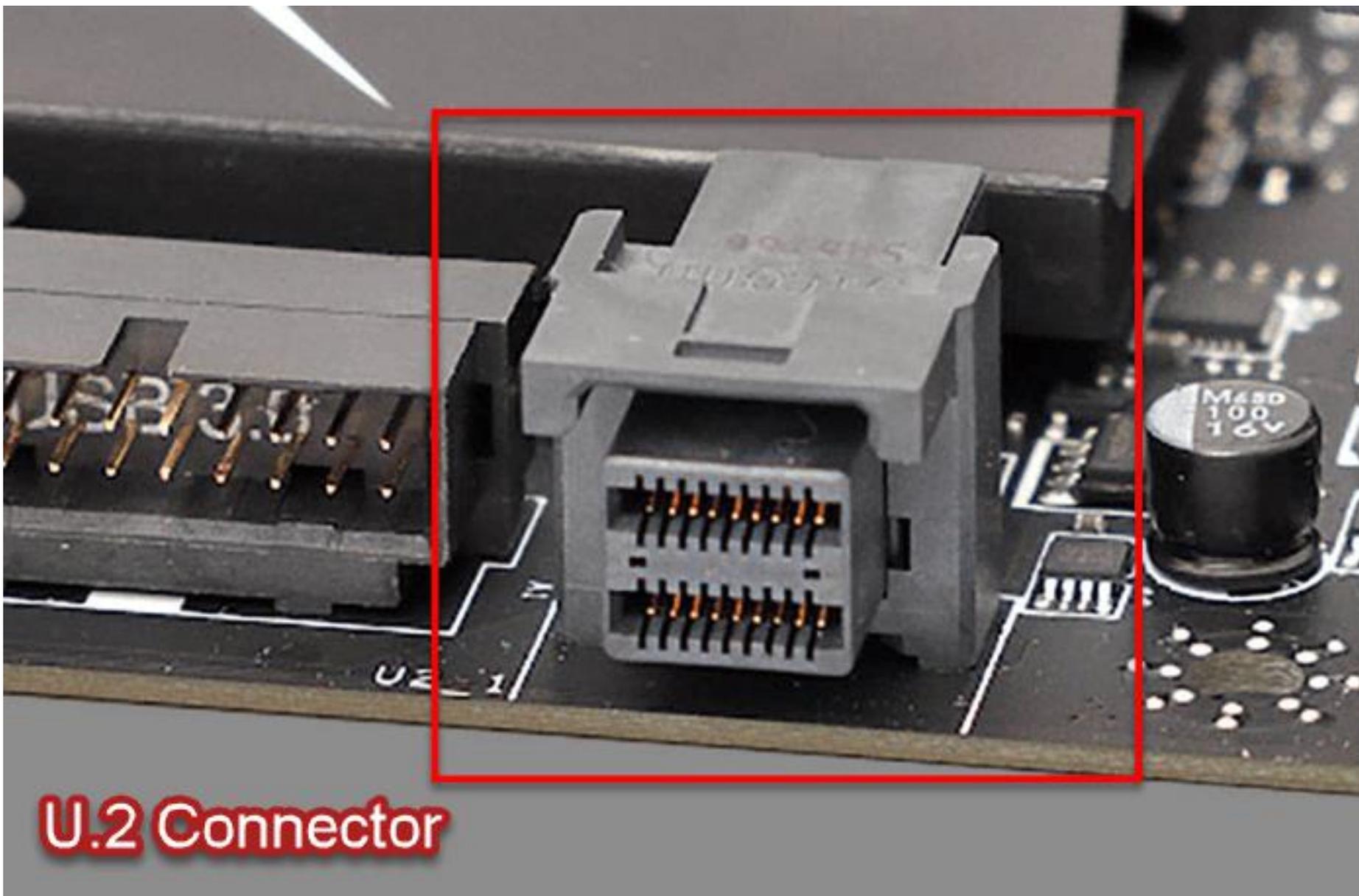


SSD диск Intel DC P4610 1,6ТБ (SSDPE2KE016T801)

U.2 слот на материнской плате



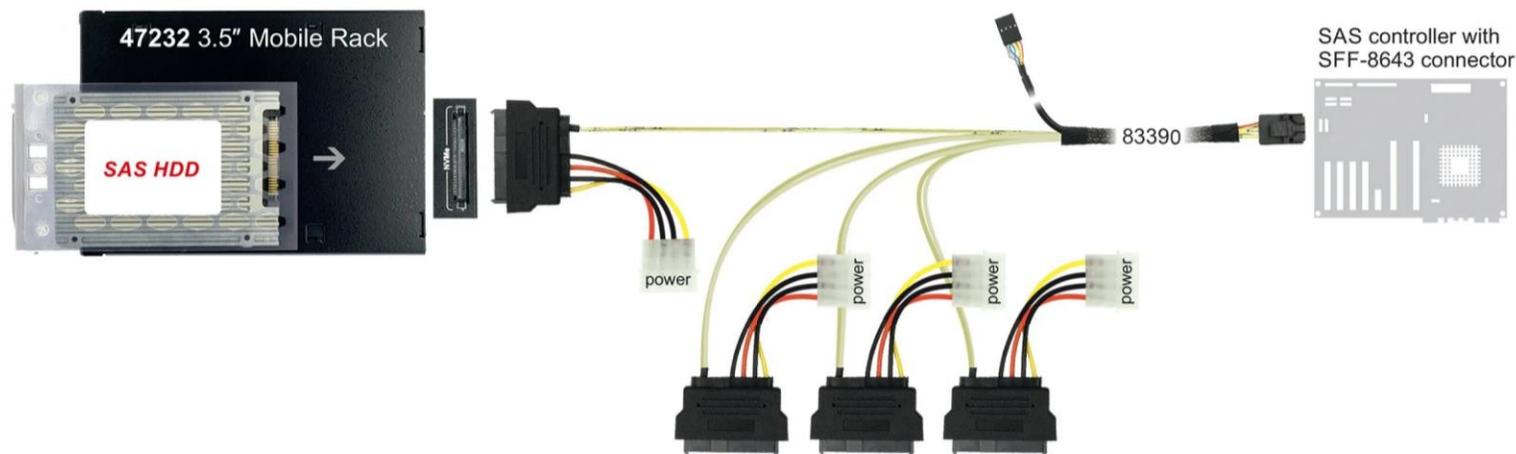
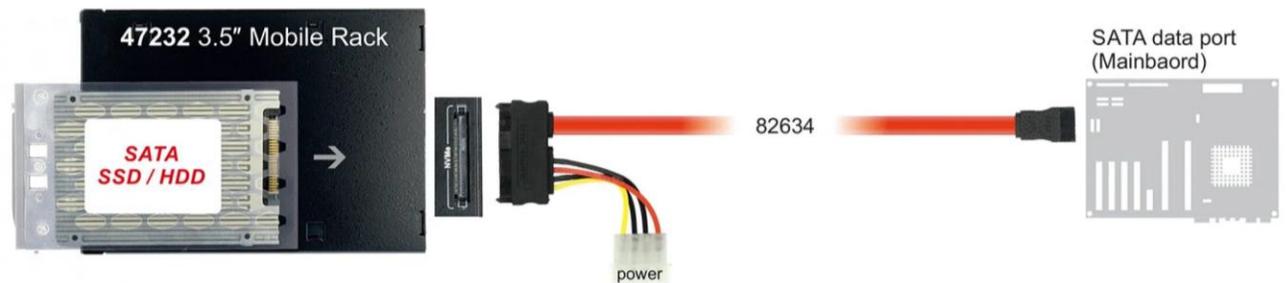
U.2 слот на материнской плате



Кабель U.2 для подключения SSD



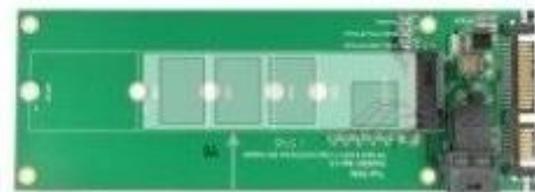
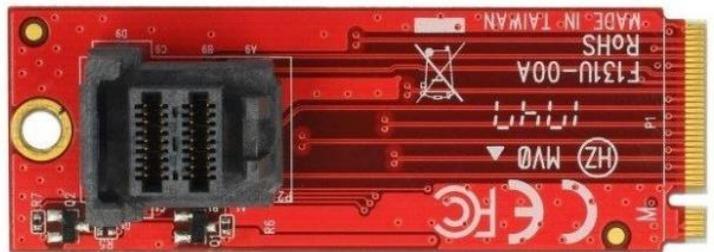
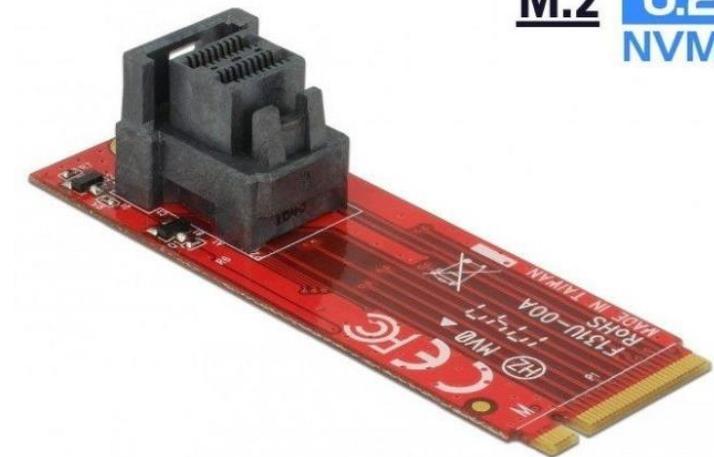
Варианты кабелей U.2



Варианты кабелей U.2

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

M.2 U.2 NVMe



62703 SSD M.2 NVMe

Adapter M.2 Key M > SFF-8643 female NVMe



63339



83386 (0.5 m)

83387 (1 m)

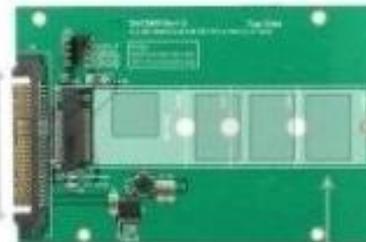
84819



62704 SSD M.2 NVMe



Intel® SSD 750 Series NVMe



62696 or 62710

SSD M.2 NVMe



power



power

M.2 адаптер DeLOCK Adap. Key SFF-8643 NVMe - vertical

Переходник с M.2 на U.2



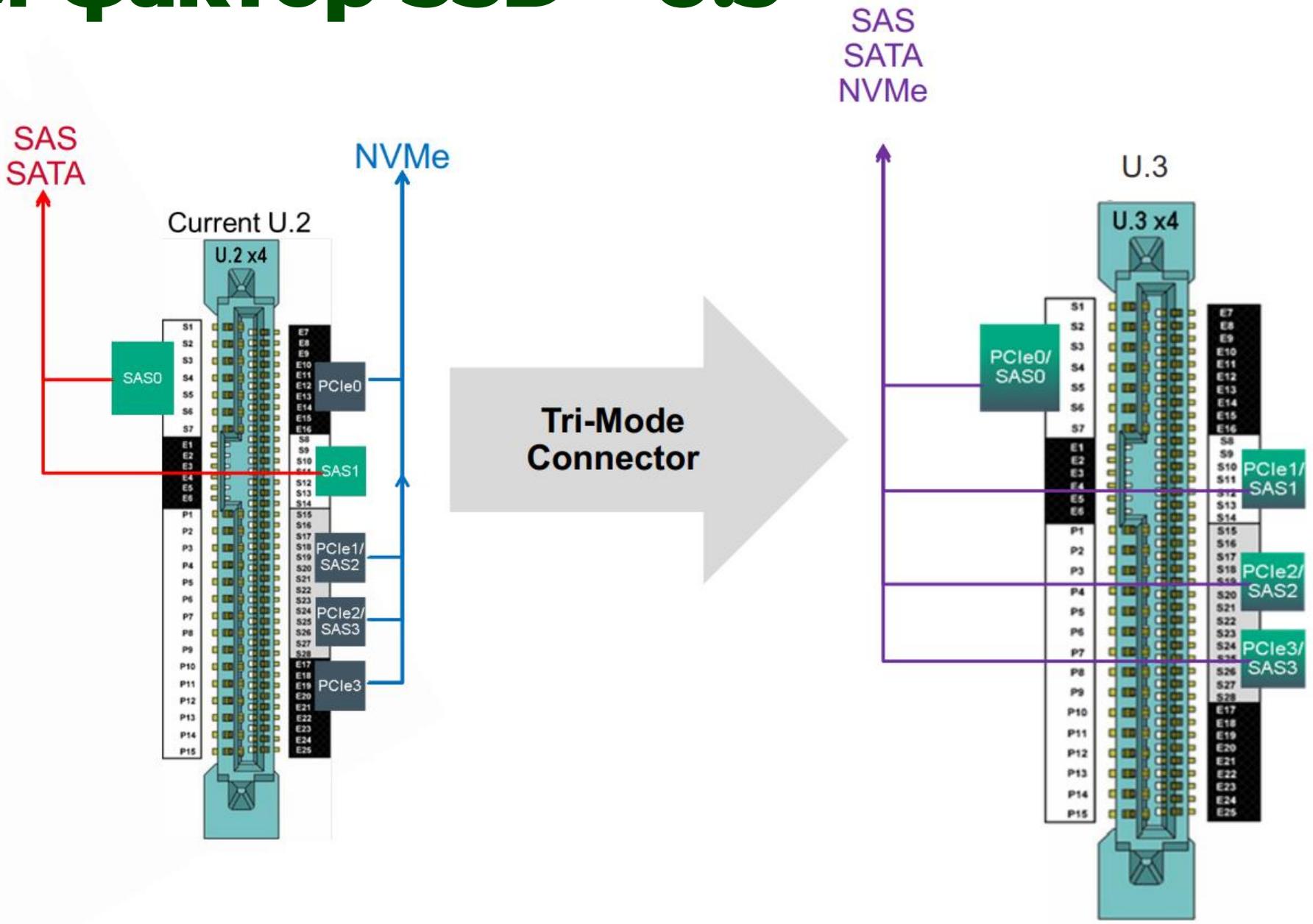
Форм-фактор SSD – U.2 (NVMe)



Форм-фактор SSD – U.3

- 20 марта 2018 года организация Open Compute Project представила форм-фактор U.3. Согласно спецификации, интерфейсы SAS, SATA и PCIe поддерживаются на всех пилах, а выбор интерфейса производится в автоматическом режиме в зависимости от предоставляемых диском интерфейсов. Накопители U.3 совместимы с системами, использующими U.2, но не наоборот.
- По состоянию на август 2024 года пока еще нет SSD дисков с форм-фактором U.3.

Форм-фактор SSD – U.3



Форм-фактор SSD – В форме модуля расширения



SSD PCI-Express

Форм-фактор SSD – В форме модуля расширения



Форм-фактор: PCI Express плата расширения (129,9 x 21,6 x 278,6)

Интерфейс: PCI-Express 3.0 x4, NVMe 1.3

Емкость накопителя: 1 Тбайт*

Скорость последовательного чтения: до 3480 Мбайт/с**

Скорость последовательной записи: до 3080 Мбайт/с**

Поддержка TRIM и S.M.A.R.T

Самостоятельное аппаратное AES-256 шифрование в автоматическом режиме (SED)

catalog.onliner.by

SSD Gigabyte Aorus RGB AIC NVMe 1TB GP-ASACNE2100TTDR

Форм-фактор SSD – В форме модуля расширения

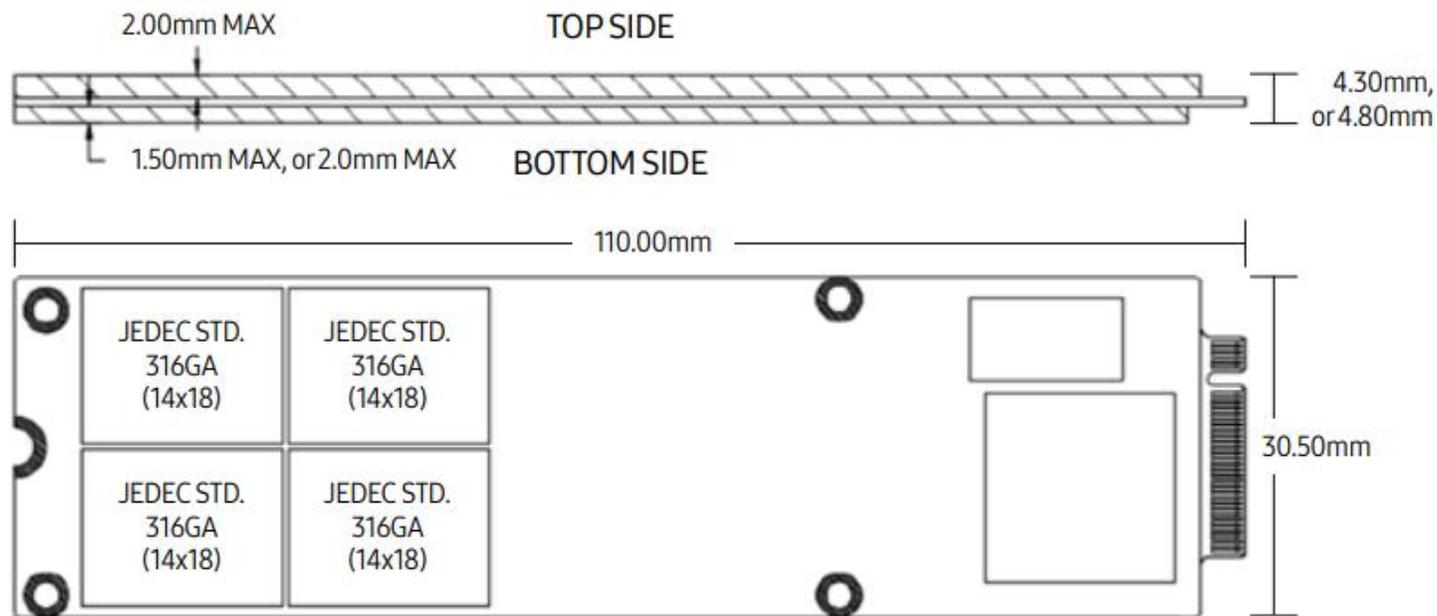


НННЛ PCI Express-диск

Форм-фактор SSD – **NFI**

- В августе 2018 года Samsung представила форм-фактор **NGSFF** (Next Generation Small Form Factor), так же известный как **M.3** или **NFI**.
- Форм-фактор от Samsung отличается от M.2 увеличенной шириной и отсутствием разнообразия в коннекторах. Длина NGSFF-диска составляет 110 миллиметров, а ширина — 30 миллиметров, что эквивалентно самой большой M.2-плате.
- NFI использует коннекторы, идентичные коннекторам типа «M» форм-фактора M.2, тем не менее, M.2 и NFI не совместимы между собой. PCI-SIG не одобряет использование разъема M.2 в данном форм-факторе, так как установка M.2 устройств в NFI разъем может привести к повреждению устанавливаемого оборудования.
- **Данный форм-фактор разработан для серверного сегмента:** увеличенная ширина позволяет вместить до 36 накопителей в 1U сервер.

Форм-фактор SSD - NVMe



NGSFF SSD Mechanical Dimensions



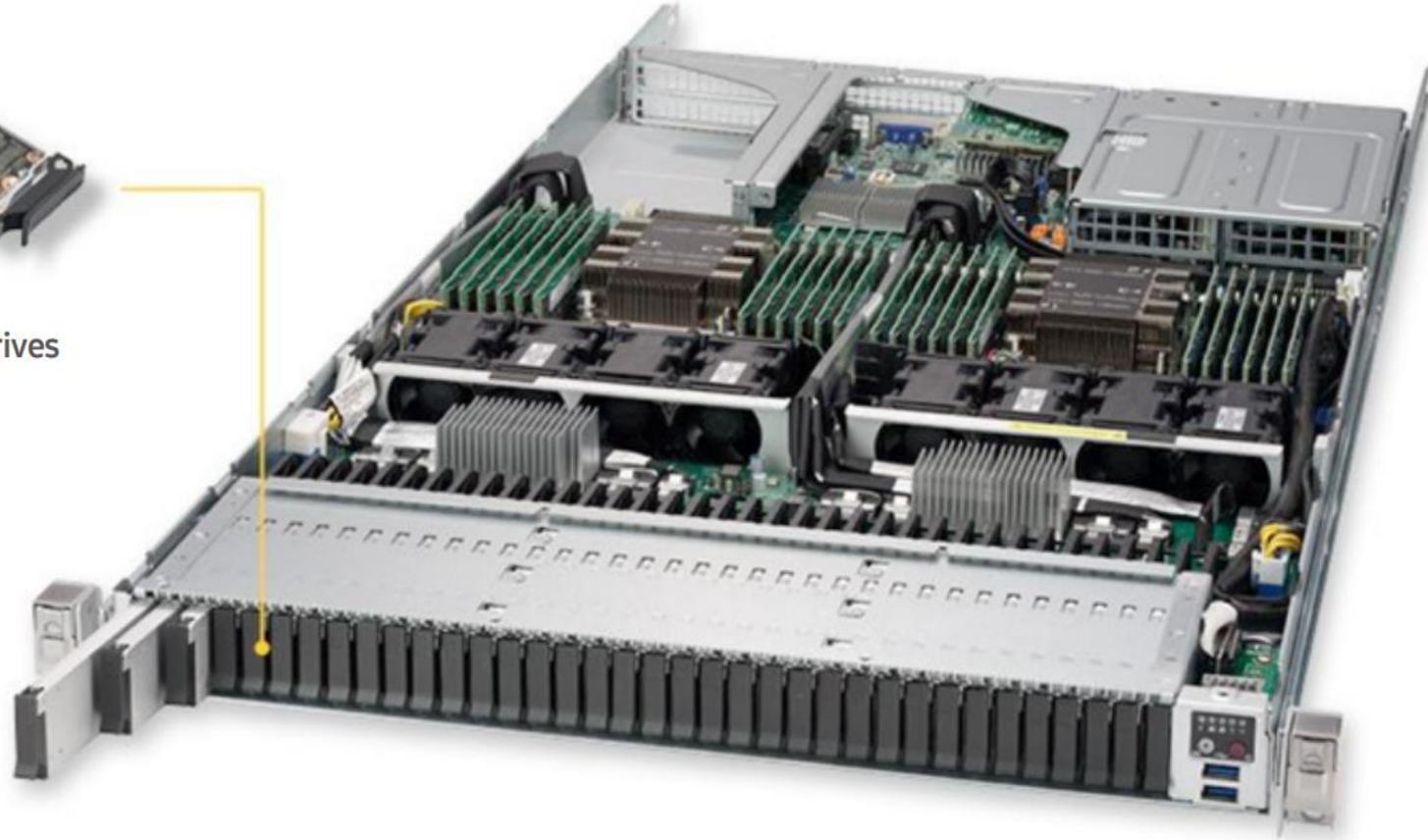
NGSFF SSD (30.5x110mm) Mounting Two Rows of Eight NANDs
(Using Both Sides of PCB, a Total of 16 NANDs Are Mounted)

SAMSUNG

Форм-фактор SSD - NFI



1 of 36 Hot-swap NGSFF Drives



Server Front-Bay Serviceability of NGSFF SSD

Форм-фактор SSD - EDSFF

- **Enterprise & Data Center SSD Form Factor (EDSFF)**, известный как Intel Ruler SSD разработан EDSFF Working Group.
- EDSFF представляет **две версии серверных SSD-дисков**: короткий (**E1.S**) и длинный (**E1.L**).
- **Короткая версия EDSFF, E1.S**, очень похожа на своего ближайшего конкурента — NGSFF, но имеет металлический корпус, который одновременно защищает плату от механических повреждений и выступает салазками для установки в сервер. Размеры диска E1.S не сильно отличаются от NGSFF: 111 миллиметров в длину и 31 миллиметр в высоту.
- **E1.L почти в три раза длиннее E1.S**, его длина — 325 миллиметров. Увеличение длины накопителя позволяет увеличить объём диска.

Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF)

- **EDSFF предназначен для замены устаревших 2,5-дюймовых SSD и M.2 накопителей**, предлагая множество преимуществ, включая улучшенную передачу сигналов и повышенную производительность.
- **Одним из значительных преимуществ EDSFF является улучшенная система охлаждения.** Объединительная плата расположена горизонтально, что не препятствует потоку воздуха, обеспечивая более эффективное охлаждение. Такая конструкция позволяет использовать менее дорогие вентиляторы, снижая потребность в энергопотреблении и уменьшая количество необходимых проводов.
- Еще одно преимущество накопителей EDSFF заключается в их разъеме. **Разъем EDSFF поддерживает только сигналы PCIe 5.0/6.0, что позволяет использовать только SSD NVMe накопители**, которые значительно быстрее накопителей формата SAS и SATA. По мере развития технологии EDSFF было определено несколько форм-факторов для различных применений.
- **Существует два основных типа накопителей EDSFF: форм-факторы E3.S и E1.S.**

Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF)

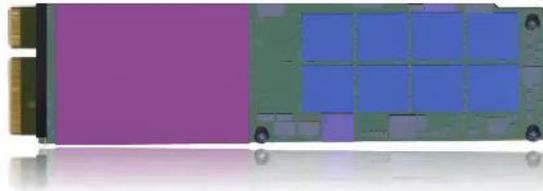
EDSFF

Height

E1

1U form-factor

(Compatible to 1U rack server height 1.75"=44.45mm)



E3

2U form-factor (3-inch)

(Compatible to 2U rack server height 3.5"=88.9mm)



Source <https://www.snia.org/technology-communities/sff/specifications>

4 | ©2021 Storage Developer Conference EMEA ©. SMART Modular Technology. All Rights Reserved.

Connector spec SFF-TA-1002

STORAGE DEVELOPER CONFERENCE
SD 21 **EMEA**

Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF)



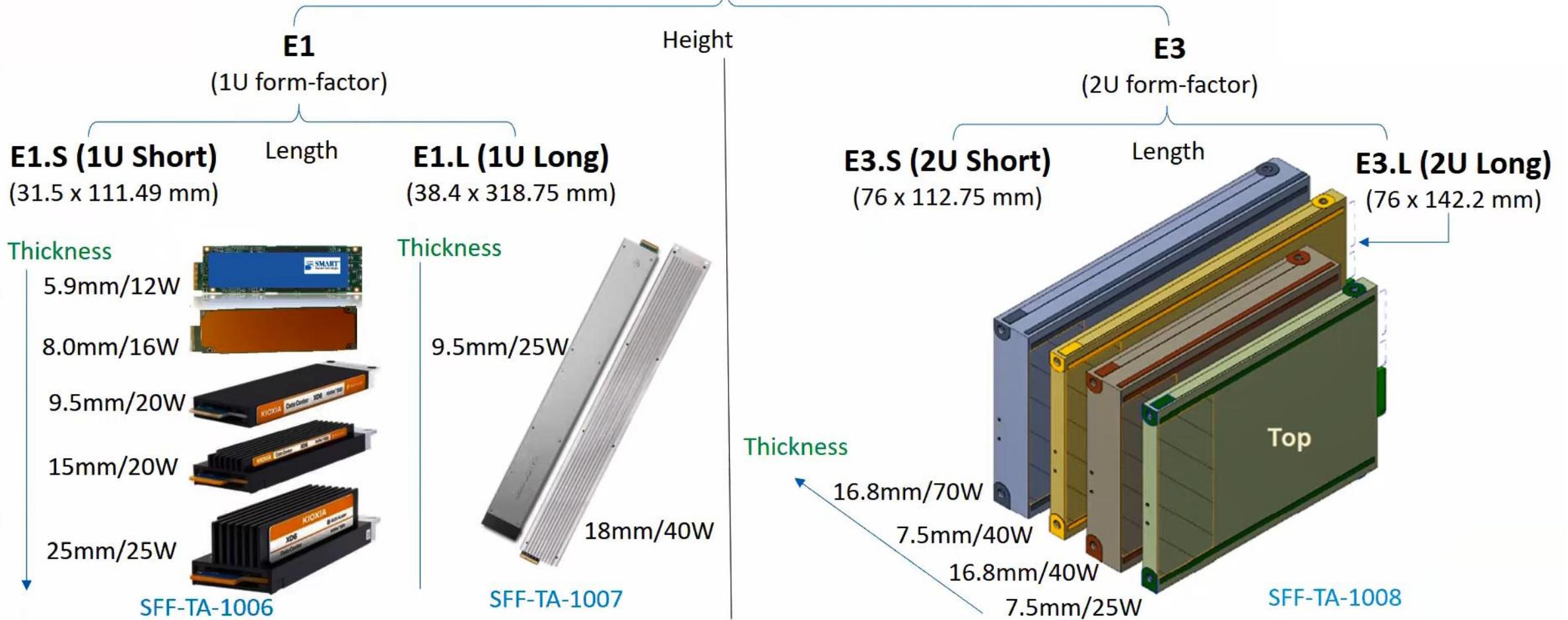
5 | ©2021 Storage Developer Conference EMEA ©. SMART Modular Technology. All Rights Reserved.

Source <https://www.snia.org/technology-communities/sff/specifications>, <https://www.snia.org/educational-library/edsff-dynamic-family-form-factors-data-center-ssds-2020>



Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF)

EDSFF



Source: <https://www.snia.org/sites/default/files/SSSI/OCP%20EDSFF%20JM%20Hands.pdf>,

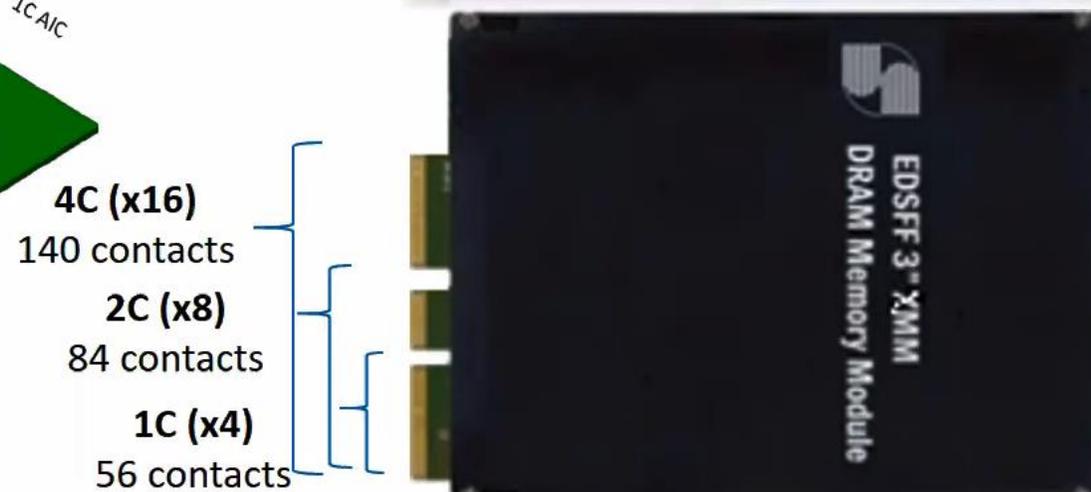
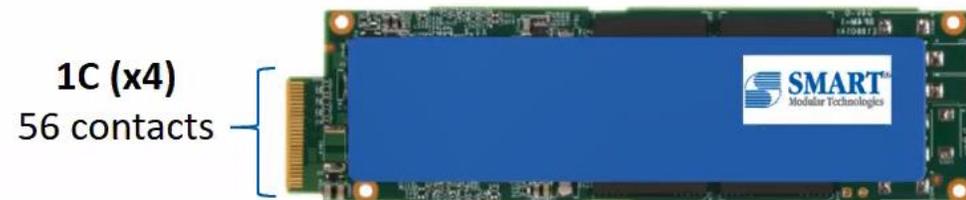
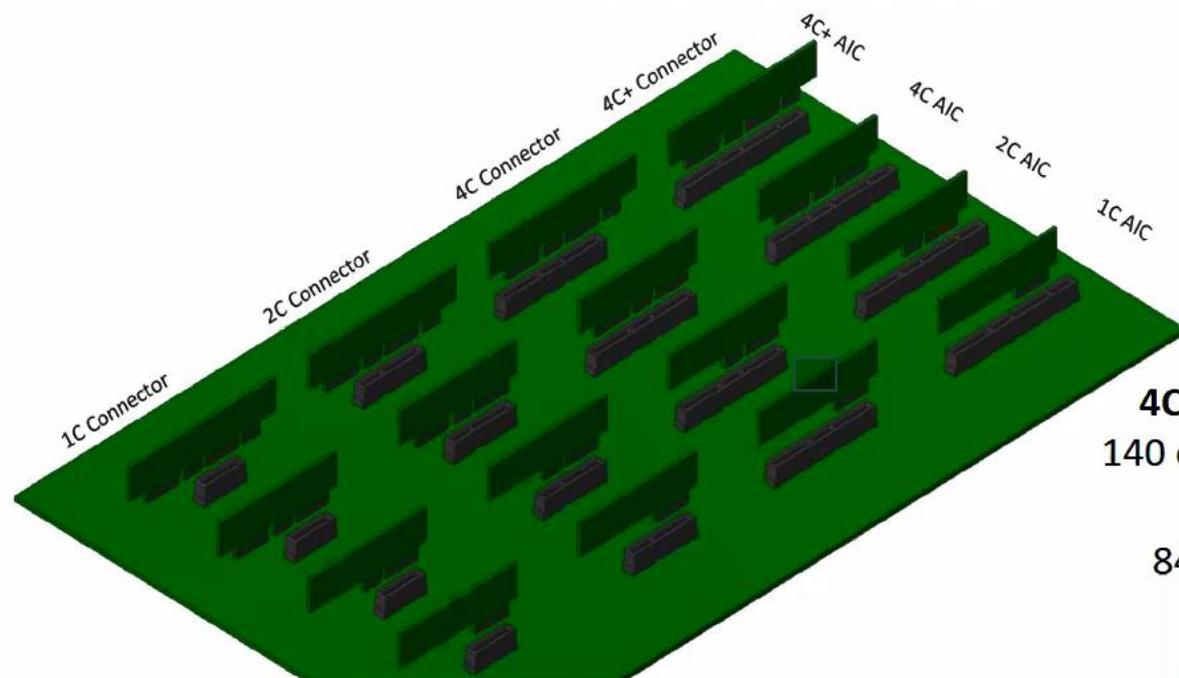
<https://www.snia.org/forums/cmsi/knowledge/formfactors>

6 | ©2021 Storage Developer Conference EMEA ©. SMART Modular Technology. All Rights Reserved.

STORAGE DEVELOPER CONFERENCE
SDC EMEA

Совместимость между разъемами EDSFF

		Add-in Cards (AICs)			
Connectors		1C	2C	4C	4C+*
	1C	✓	✓	✓	✓
	2C	✓	✓	✓	✓
	4C	✓	✓	✓	✓
	4C+*	✓	✓	✓	✓



Source <https://www.snia.org/technology-communities/sff/specifications>

©2021 Storage Developer Conference EMEA ©. SMART Modular Technology. All Rights Reserved.

SFF-TA-1002

STORAGE DEVELOPER CONFERENCE
SD C EMEA

Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF) E3.S



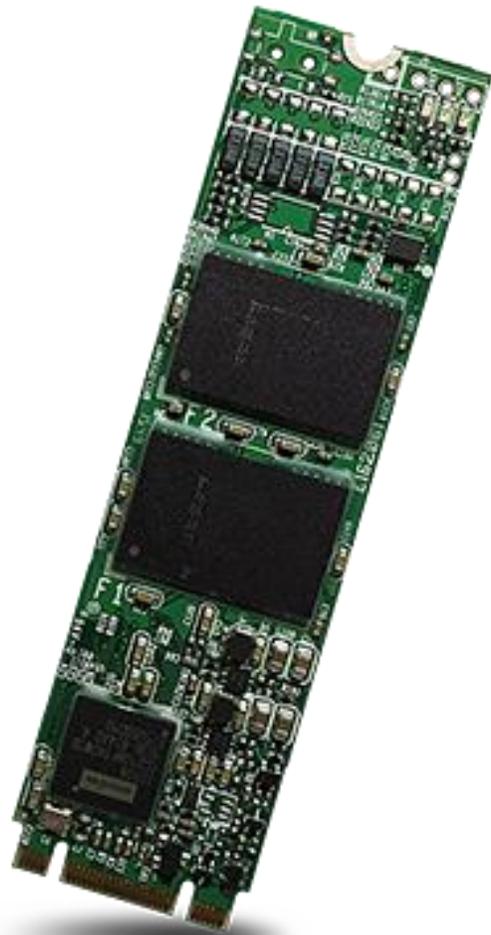
2,5-inch



E3.S

Форм-фактор E3.S предназначен для использования в корпоративных серверах и системах хранения данных. Он обеспечивает вдвое большую емкость по сравнению с 2,5-дюймовыми накопителями и был создан как современная альтернатива форм-фактору U.2. Благодаря высокой скорости чтения и записи, а также возможности размещения до 13 ТБ флеш-памяти, E3.S предлагает значительное улучшение производительности и емкости.

Форм-фактор Enterprise and Data Center (EDSFF) E1.S



M2



E1.S

Форм-фактор E1.S – это компактное решение, которое устанавливается вертикально в корпус высотой 1U. E1.S схож по размерам с форм-фактором M.2, но предлагает улучшенное рассеивание тепла и охлаждение. Этот форм-фактор разработан в первую очередь для гипермасштабируемых серверов и систем хранения данных.

Форм-фактор SSD – EDSFF E1.S



Kioxia XD6 E1.S 9.5mm Below M.2 Above 2

Форм-фактор SSD – EDSFF E3.S



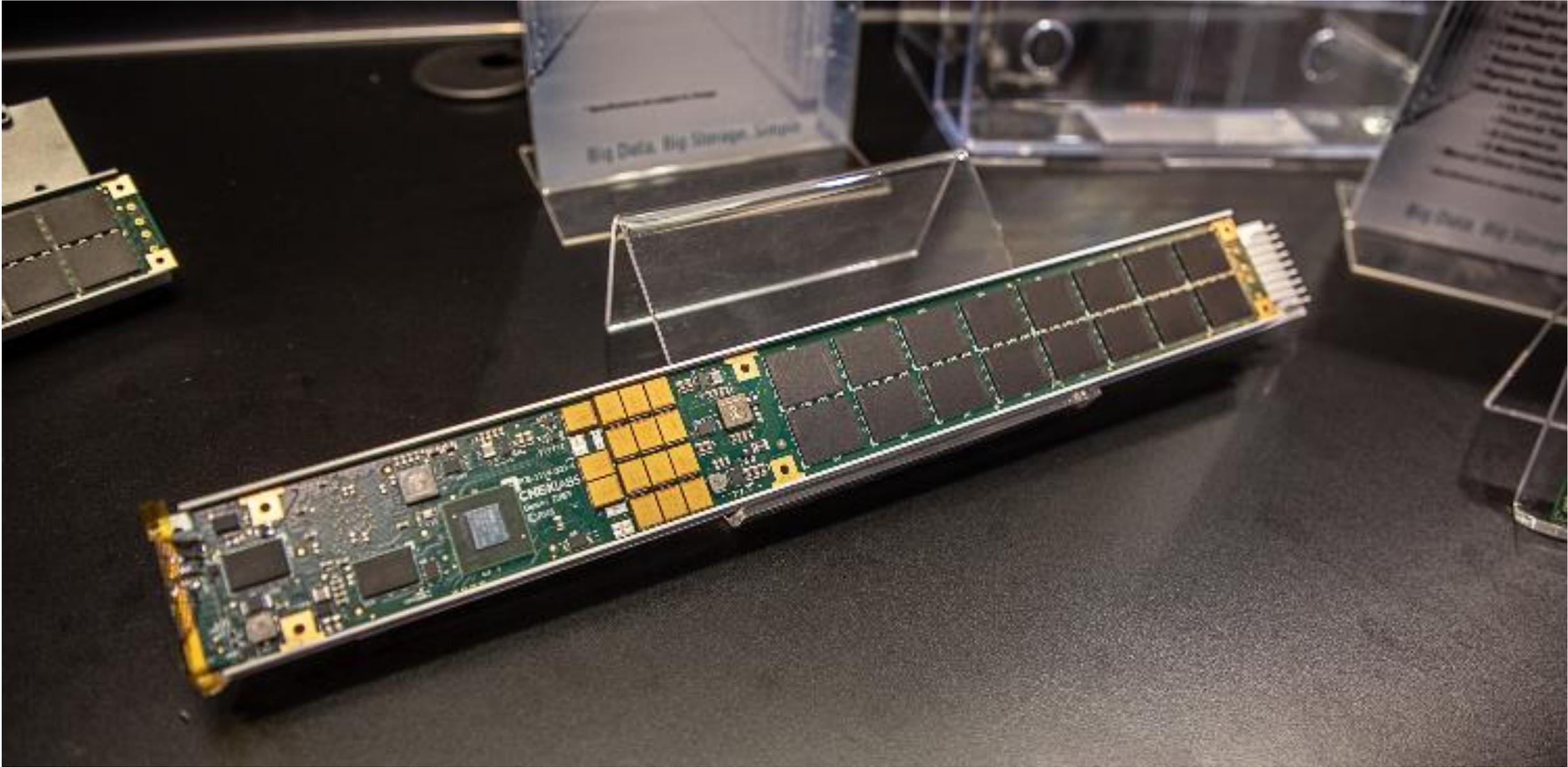
Kioxia XD6 E3.S 1T CD6 PX02 And HDD

Форм-фактор SSD – EDSFF E3.S



Kioxia XD6 E3.S 1T Below E1.S 9.5mm

Форм-фактор SSD – EDSFF E1.L



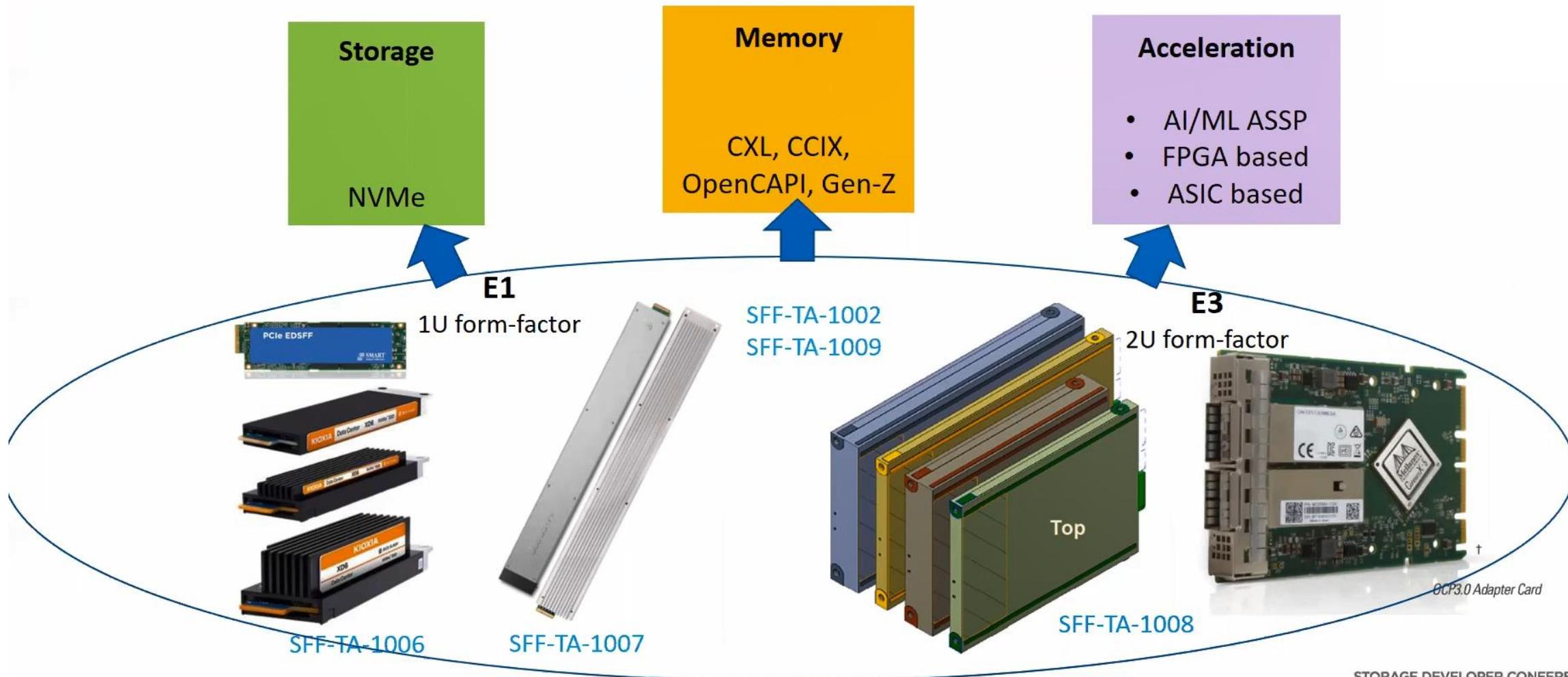
Форм-фактор SSD – EDSFF E1.L



Supermicro SSG 1029P NEL32R With 15TB Intel EDSFF SSD On Top

Enterprise and Data Center (EDSFF)

EDSFF: Enterprise and Data-center **SSD Scalable** Form Factor



19 | ©2021 Storage Developer Conference EMEA ©. SMART Modular Technology. All Rights Reserved.

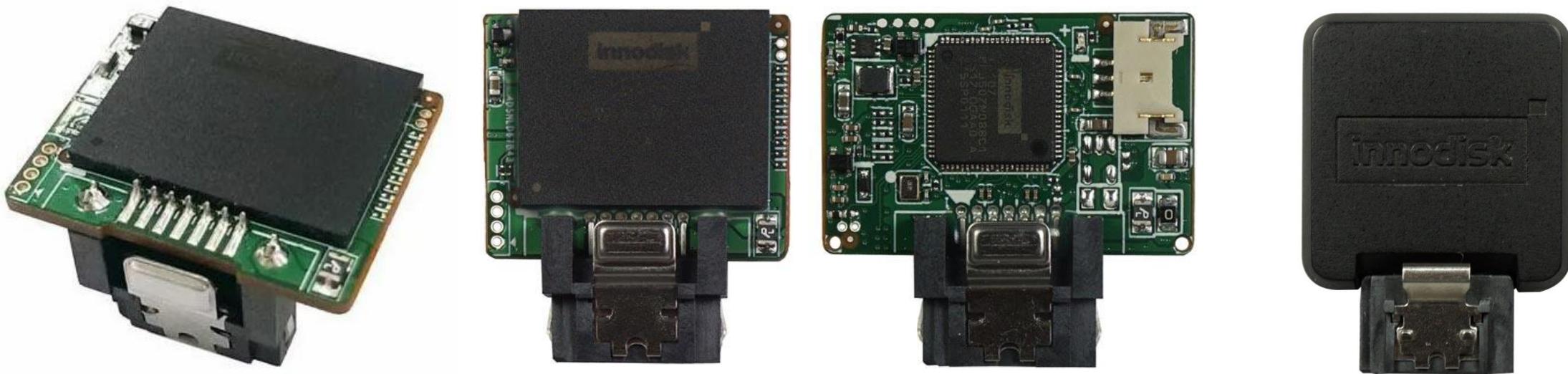
Source: <https://www.snia.org/sites/default/files/SSSI/OCP%20EDSFF%20JM%20Hands.pdf>,

<https://www.snia.org/forums/cmsi/knowledge/formfactors>

STORAGE DEVELOPER CONFERENCE
SD C EMEA

Форм-фактор ServerDOM

- **ServerDOM™** — крошечный форм-фактор (с размерами **20.2x30.8x7.2 мм и меньше**), разработанный для **использования в серверах**. Использование ServerDOM™ в качестве загрузочного устройства освобождает больше места для дополнительного хранилища, а также упрощает масштабирование сервера.
- ServerDOM™ устанавливается в разъем SATA и может иметь горизонтальное или вертикальное исполнение.



У Apple как всегда все по-другому»



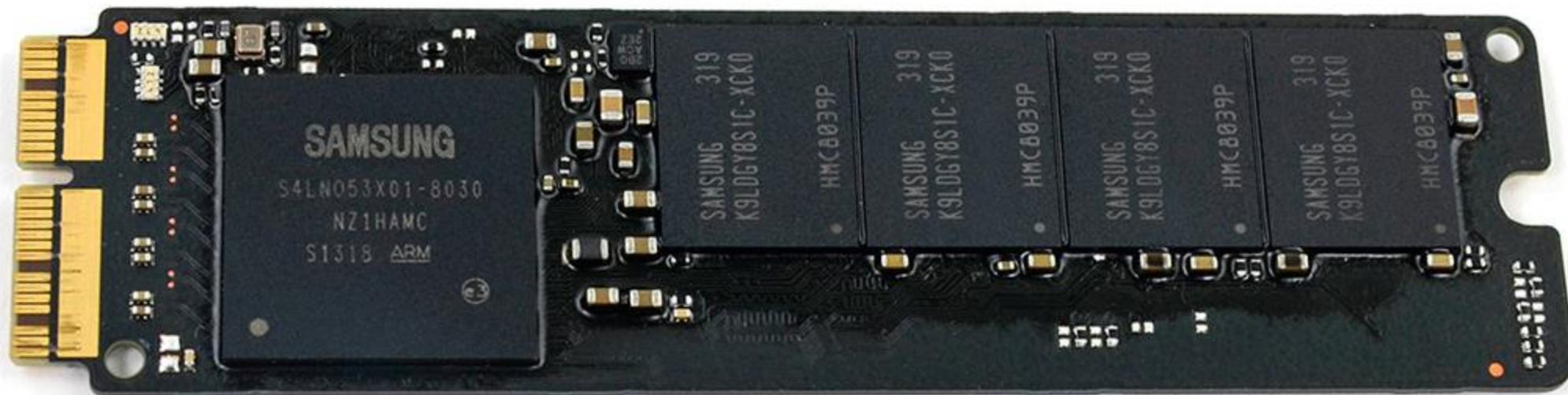
Gen. 1 SSD, Gen. 2B, Gen. 2A, Gen. 3A (comparable to Gen. 4A and Gen. 4C),
Gen. 3B (comparable to Gen. 4B), Gen. 5B, Gen. 5A

SSD HDD для устройств Apple

Оригинальные разъемы Apple

- Когда Apple выпустила свой первый тонкий твердотельный накопитель в MacBook Air в конце 2010 г., все еще использовалась традиционная технология интерфейса SATA, **в то же время Apple отказалась от традиционных форм-факторов SATA и mSATA**, которые были в большинстве ноутбуков того времени, вместо них выбрав свой разъем, который никогда не использовался другими разработчиками ни до, ни после. **Выпустив в 2010 г. MacBook Air, Apple открыла новую тенденцию разработки патентованных разъемов и форм-факторов, которые в конце концов захватили весь модельный ряд Apple** и открыли эпоху накопителей, которые наряду с их простой заменой, были труднодоступны для покупки.
- Многие ошибочно полагают, что разъемы являются одним из вариантов M.2, которые можно найти во многих ПК, но на самом деле Apple никогда его не использовала. И в отличие от распиновки контактов именуемой M.2, **Apple своим разъемам названий не давала**, поэтому с этого момента мы просто будем ссылаться на разъемы по расположению их контактов, как показано на рисунке ниже.

Оригинальные разъемы Apple



2010/2011
MacBook Air

6+12Pin



2012
MacBook Air

7+17 Pin



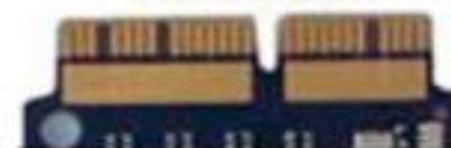
2012
MacBook Pro
w/ Retina Display

7+17 Pin

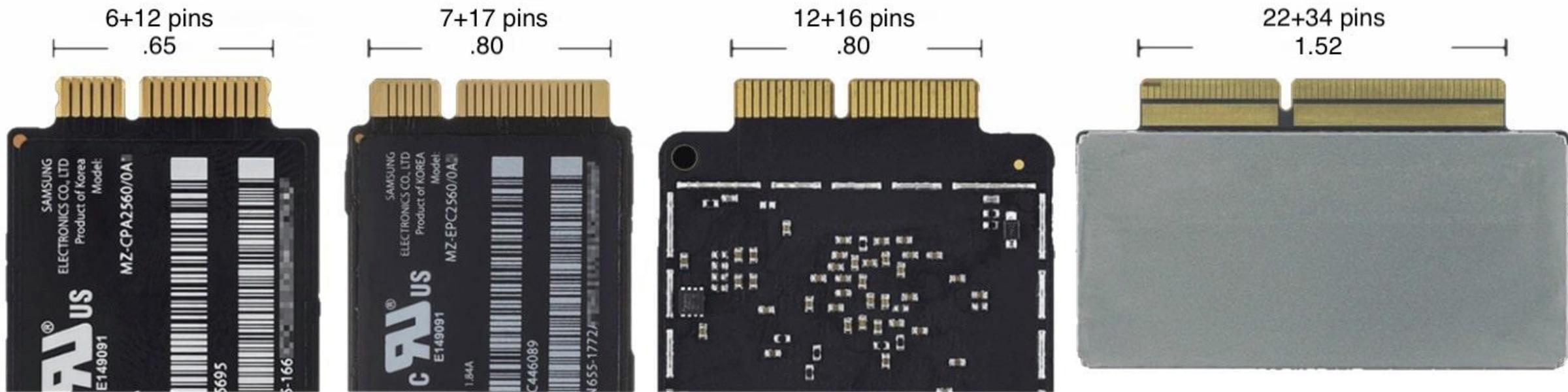


2013 MacBook
PCIe SSD

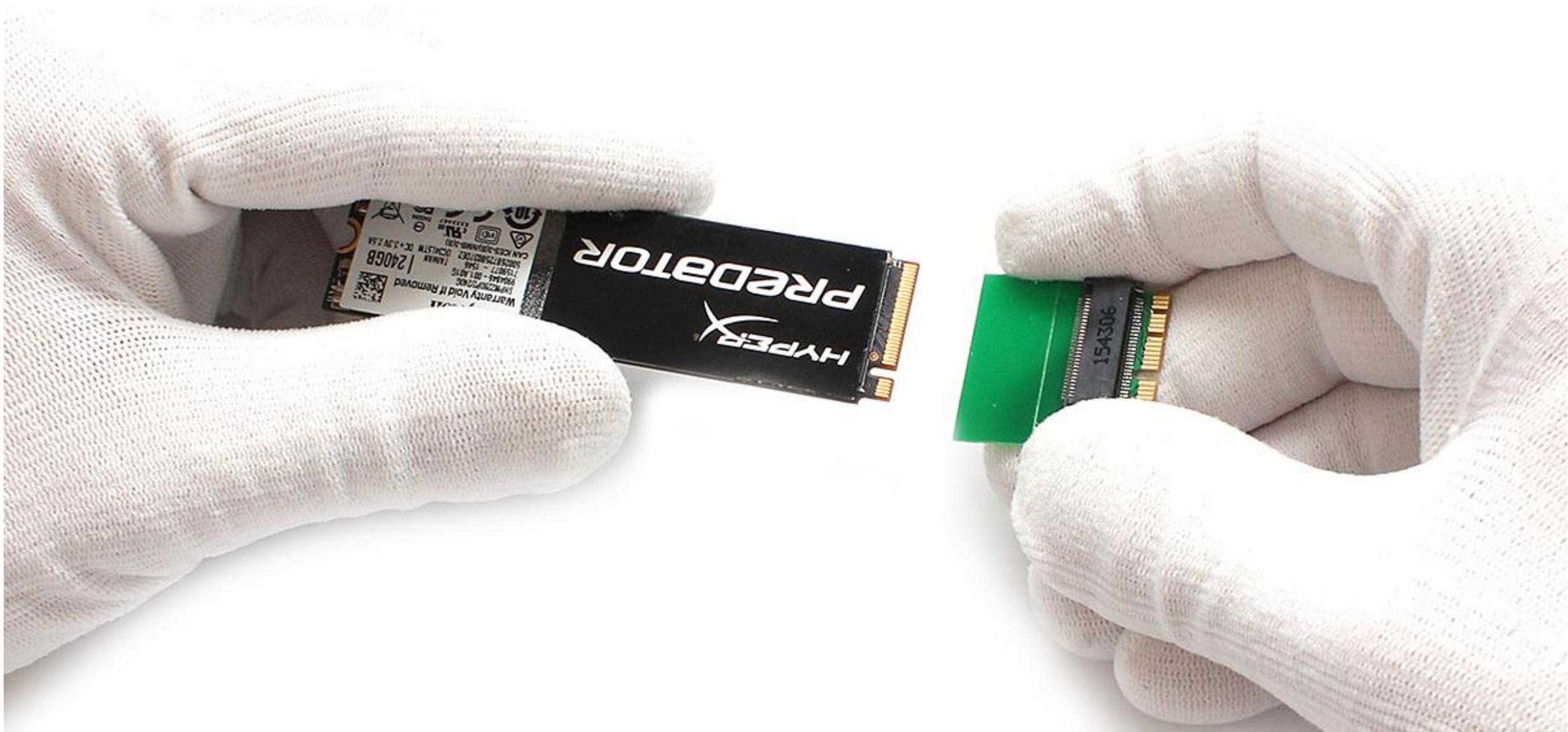
12+16Pin



Оригинальные разъемы Apple



Но, выход всегда найдется



Неоригинальный SSD и переходник для установки в macbook pro или macbook air

Разъемы SSD / HDD и других устройств хранения данных

Pinoutguide.com HDD and other storage devices connectors pinouts Pinouts / Devices / Connectors / to russian

PinoutGuide.com > HDD/Storage Connectors Search: >

PC INTERFACES

- Buses and Slots Pinouts
PCI, USB, Firewire...
- Serial Interfaces Pinouts
RS232, RS422,...
- Power Supply Connectors
ATX, WTX,...
- Videocards Connectors**
VGA, DVI,...
- Network Connectors Pinouts
UTP, AUI,...
- Memory Cards/Modules
CF, MS, Sim-card, DIMM,...
- HDD/Storage Connectors**
ATA, SATA, SCSI,...
- Misc Motherboard Connectors
Header, fan,...

PERIPHERALS

PORTABLE DEVICES

AUDIO/VIDEO

AUTOMOTIVE

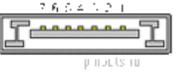
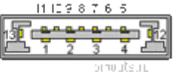
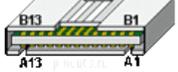
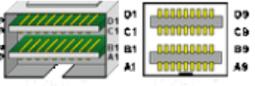
CONNECTORS

PINOUTS BY VENDOR

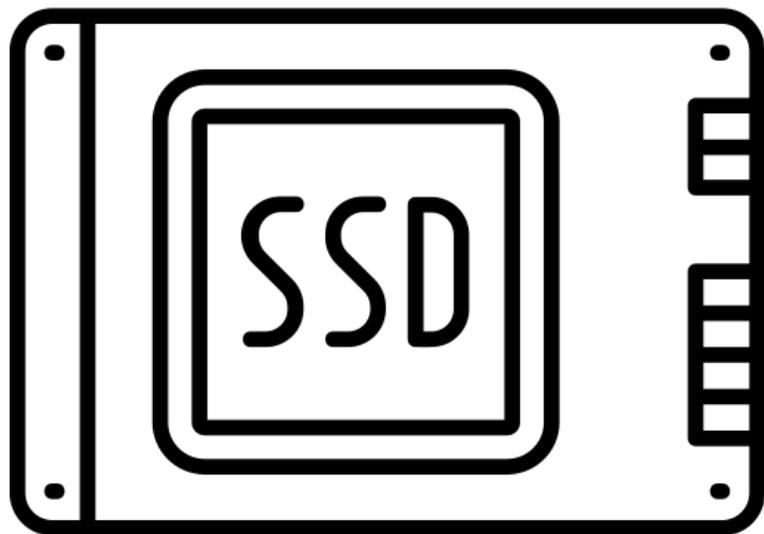
A hard disk drive (HDD), hard disk, hard drive or fixed disk is a data storage device used for storing and retrieving digital information using one or more rigid ("hard") rapidly rotating disks (platters) coated with magnetic material.

HDDs are accessed over one of a number of bus types, including as of parallel ATA (PATA, also called IDE or EIDE; described before the introduction of SATA as ATA), Serial ATA (SATA), SCSI, Serial Attached SCSI (SAS), and Fibre Channel. Bridge circuitry is sometimes used to connect HDDs to buses with which they cannot communicate natively, such as IEEE 1394, USB and SCSI.

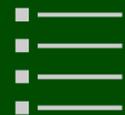
Show device-specific * / Apple pinouts only (please note that filtering may not be accurate) or follow to [62 OLD hardware pinouts](#).

- eSATA (External SATA)** eSATA provides a variant of SATA for external connectivity. It uses a more robust connector, longer shielded cables, and stricter electrical standards. The protocol and logical signaling are identical to internal SATA. 
- eSATA USB hybrid (EUHP) external connector** eSATAp (also known as Power eSATA, eSATA/USB Combo, eSATA USB Hybrid Port (EUHP)) is a combination connection for external storage devices. 
- M.2 (NGFF) connector** M.2 (Next Generation Form Factor, NGFF), is a specification for computer expansion cards. Having a small and flexible physical specification, the M.2 is suitable for solid-state storage applications, especially when used in small devices such as ultrabooks or tablets. 
- Mini-SAS 4x SFF-8088 connector** SFF-8088 is primarily used to connect one chassis to another chassis through the use of external multiline cabling. Nowadays it is the most widely used external SAS cable connector. 
- Mini-SAS HD 4x SFF-8644 external connector** the latest HD MiniSAS connector design for implementing HD SAS External interconnect solutions. Typical application is a SAS link between a SAS HBA to a SAS drive subsystem. 
- Mini-SAS HD SFF-8643** SAS is a serial, point-to-point interface with SCSI protocol set. Typical application of SFF-8643 connector is a internal SAS link between a SAS HBA to SAS drives. 

<https://pinoutguide.com/HD/>



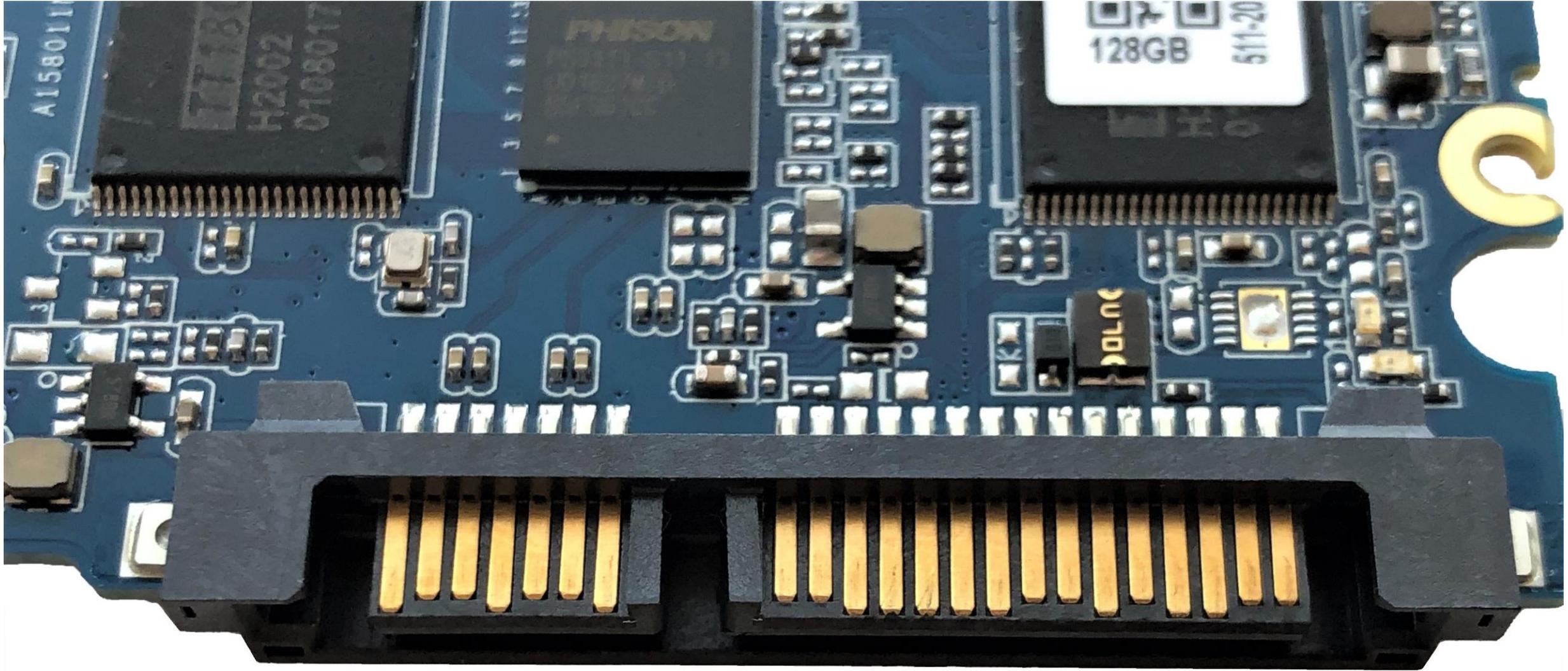
SSD. Интерфейсы



Интерфейсы SSD HDD

- **Интерфейс** – это протокол обмена электрическими и логическими сигналами между CPU и накопителем. Он определяет максимальную пропускную способность, величину задержки, расширяемость и возможность горячей замены SSD-накопителя.
- **Физическая реализация интерфейса влияет на следующие параметры:**
 - пропускная способность канала связи;
 - максимальное количество одновременно подключенных устройств;
 - количество возникающих ошибок.
- **Интерфейс** – совокупность средств, методов и правил взаимодействия между элементами системы.

Интерфейс подключения

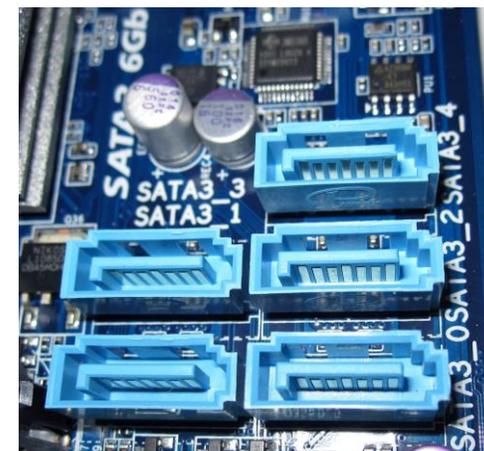


Интерфейс и скорость передачи данных

- Максимальная скорость передачи данных твердотельного накопителя ограничена типом подключения.
- **SSD потребительского сегмента используют подключение через интерфейсы SATA и PCI-Express:**
 - **SATA/mSATA** — обеспечивает передачу данных на скоростях до 6 Гбит/сек (SATA III).
 - **M.2 SATA** — обеспечивает передачу данных на скоростях до 6 Гбит/сек (SATA III).
 - **M.2 NVMe** — обеспечивает передачу данных по линиям PCI-Express на скоростях до 31.5 Гбит/сек (PCI-Express 3.0 x4).
 - **AIC NVMe** — обеспечивает передачу данных на скоростях до 31.5 Гбит/сек (PCI-Express 3.0 x4).
 - **SAS** — применяется в серверных системах, обеспечивает передачу данных от 6 Гбит/с до 12 Гбит/с

Интерфейсы SSD - SATA

- **SATA3 (6 Гбит/с)** – самый распространенный вариант.
- Накопители SSD с таким типом подключения, как правило, имеют форм-фактор 2.5”.
- Основные плюсы: доступен любой объем, совместимость с любыми материнскими платами и низкая стоимость. Однако интерфейс имеет низкую скорость среди SSD (до 600 Мб/с на один канал). Для компактных устройств разработан скромный по габаритам аналог mSATA, который по скорости идентичен полноразмерному решению.



Интерфейсы SSD - SATA



Интерфейсы SSD - mSATA

- **Интерфейс mSATA (mini-SATA)** можно обнаружить на некоторых настольных материнских платах (например, линейке ASUS Maximus V) и в немалом количестве ноутбуков.
- Накопители с этим интерфейсом соответствуют спецификации SATA III и могут достигать скорости передачи данных 550 МБ/с.
- Интерфейс и устройства mSATA внешне неотличимы от mini-PCI-Express интерфейса и устройств, но они абсолютно несовместимы и установка mSATA устройства в mini-PCI-Express слот может привести к выходу из строя этих компонентов.
- В настоящее время mSATA уже уходит с рынка, так как его заменил более новый интерфейс — M.2.

Интерфейсы SSD - mSATA



Интерфейсы SSD – SAS (Serial Attached SCSI)

- По сравнению с корпоративными твердотельными накопителями SATA SSD, SAS-накопители предлагают значительные улучшения по части полосы пропускания и пропускной способности. При передаче данных SATA использует только полудуплекс и одновременно задействует только одну полосу. Но SAS – полнодуплексный. Это означает, что твердотельные накопители SAS имеют гораздо более высокую скорость передачи данных.
- Кроме того, твердотельные накопители **SAS III обеспечивают скорость передачи данных от 6 Гбит/с до 12 Гбит/с, что в два раза быстрее, чем SSD-накопители на базе SATA III (до 6 Гбит/с).**
- А значит интерфейс SAS всегда в два раза быстрее, чем SATA, и в 4 раза быстрее, если учесть, что SAS двухпортовый и дуплексный.
- Если исходить из теории, пропускная способность SATA III при манипуляции блоками 4K равна 150 000 IOPS (операций в секунду).
- И это максимальная скорость в двух направлениях (чтение/запись). Потенциальная скорость для SAS 6Gb в этом случае будет 300 000 IOPS (полный дуплекс), а для SAS 12Gb – 600 000 IOPS (300 000 IOPS при чтении и 300 000 IOPS при одновременной записи).

Интерфейсы SSD - SAS



Интерфейс Serial Attached SCSI (SAS) был создан для использования в корпоративном сегменте, в том числе в серверах, центрах обработки данных и прочих объектах, которые можно отнести к критически важной инфраструктуре. Сегодня SSD накопители, использующие тип подключения SAS, представлены исключительно в форм-факторе 2,5 дюйма.

На текущий момент существует четыре стандарта SAS:

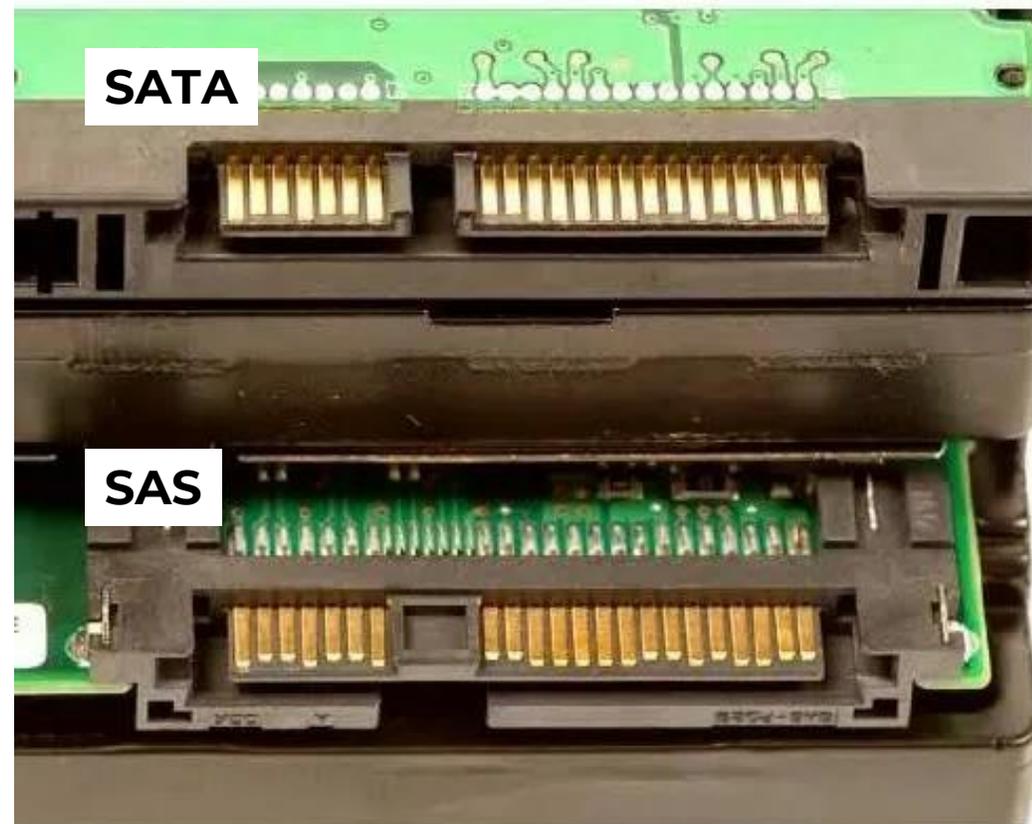
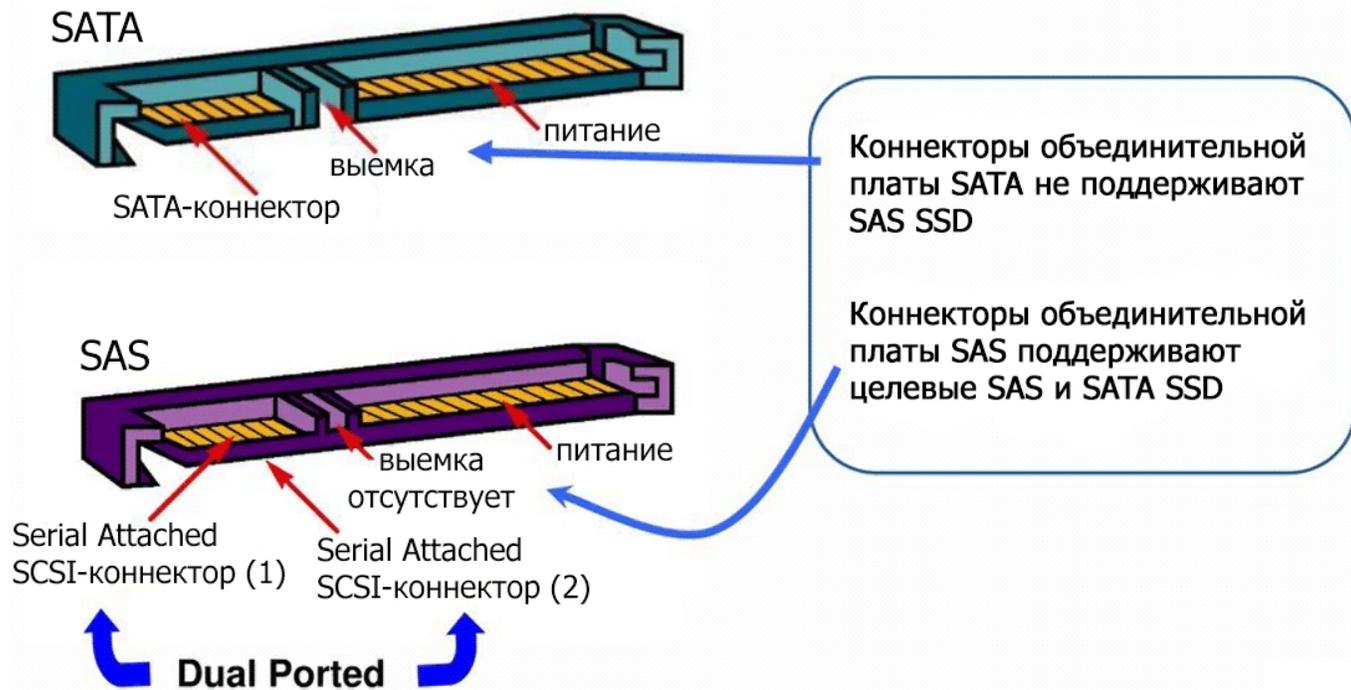
1. SAS-1: до 3.0 Гбит/с (2004);
2. SAS-2: до 6.0 Гбит/с (2009);
3. SAS-3: до 12.0 Гбит/с (2013);
4. SAS-4: до 22.5 Гбит/с (2017).

Интерфейс SAS — это более быстрая и продвинутая версия SATA. В связи с этим основной сферой применения стали серверные устройства и системы хранения данных. На эту же область ориентированы и SAS накопители — они более обычно быстрые и надежные.

Жесткий диск Toshiba 400Gb SAS SSD (PX05SMB040)

Интерфейсы SSD - SAS

Коннекторы SATA / SAS

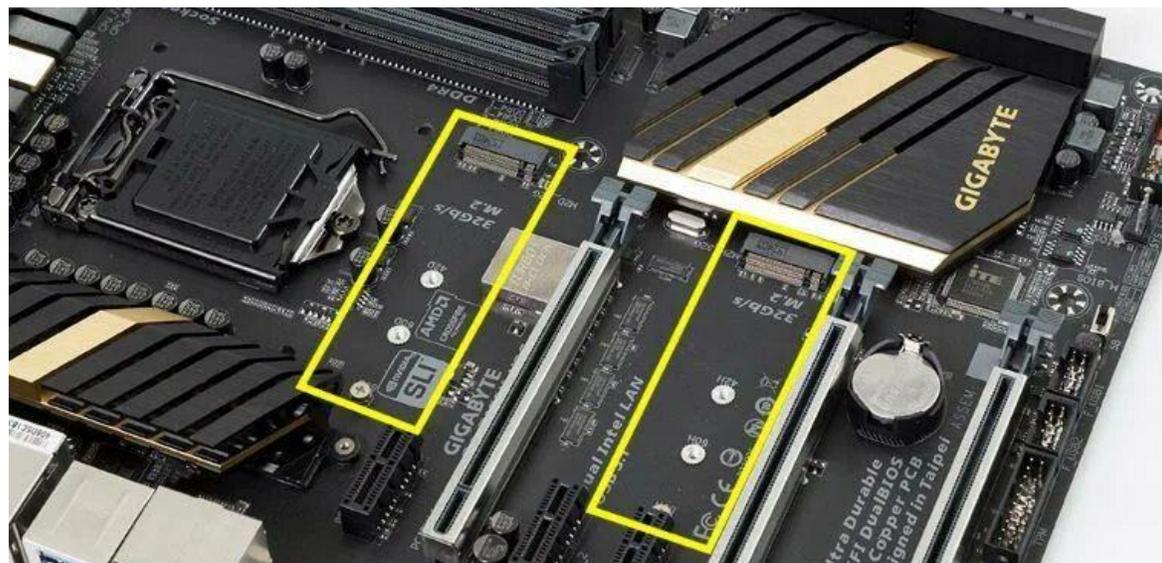


Интерфейсы SSD - SAS

- По сравнению с SSD на основе SATA, твердотельные накопители на основе SAS обеспечивают лучшую общую сквозную целостность данных и обладают более гибко настраиваемой структурой отчетности.
- Наконец, если массив или сервер поддерживает интерфейс SAS, к нему можно подключить твердотельные накопители на базе SAS или SATA, и оба будут работать. Однако в массивы или сервера с объединительной платой SATA накопители SAS установить не получится: в этом случае будут работать только твердотельные SATA-решения.
- Отметим, что раньше **SATA использовался как недорогой интерфейс для жестких дисков потребительского уровня.**
- В то время как **SAS был разработан для улучшения инфраструктуры и возможностей управления дисками в серверных массивах.**
- То есть у SAS изначально больше возможностей, чем у SATA. Например, он умеет работать с несколькими устройствами одновременно, в то время как SATA работает по принципу «устройство-хост» и никакой мультизадачности не подразумевает. **SAS-накопители предлагают несколько уровней безопасности и шифрования данных, поддерживают восстановление ошибок и создание отчетов об ошибках.** Безусловно, все эти опции предлагают и современные SATA- и NVMe-SSD на уровне контроллера, но разница в работе все-таки перевешивает.

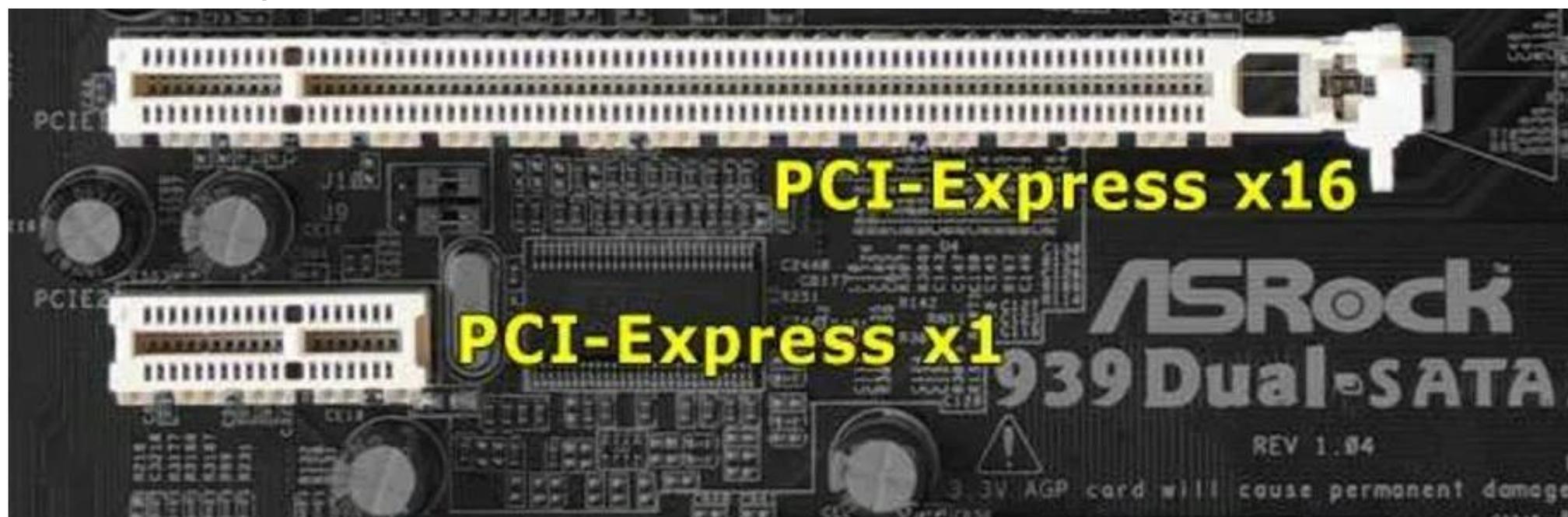
Интерфейсы SSD – M.2

- **M.2 – стандарт, пришедший на замену mSATA.** В длину бывает разный: 42, 60, 80 мм и более. Далеко не все материнские платы имеют соответствующий разъем.
- **M.2 может быть как с интерфейсом SATA, так и PCIe.** Разница между этими вариантами интерфейса – в скорости. И при том довольно большая – SATA накопители могут похвастаться скоростью в среднем 550 Мб/с, тогда как PCIe, в зависимости от поколения, предлагают до 500 Мб/с на одну линию для PCI-E 2.0, и до 985 Мб/с на одну линию PCI-E 3.0.



Интерфейсы SSD – PCI-E

- **PCI-E** – самый быстрый на сегодняшний день интерфейс подключения. Его скорость приблизительно равняется 2000 Мб/с при чтении и 1000 Мб/с при записи. Очевидно, что рядового пользователя та-кая производительность избыточна. Поэтому рекомендуется использовать его только в профессиональных задачах. Тем более что цена на подобные накопители крайне высока

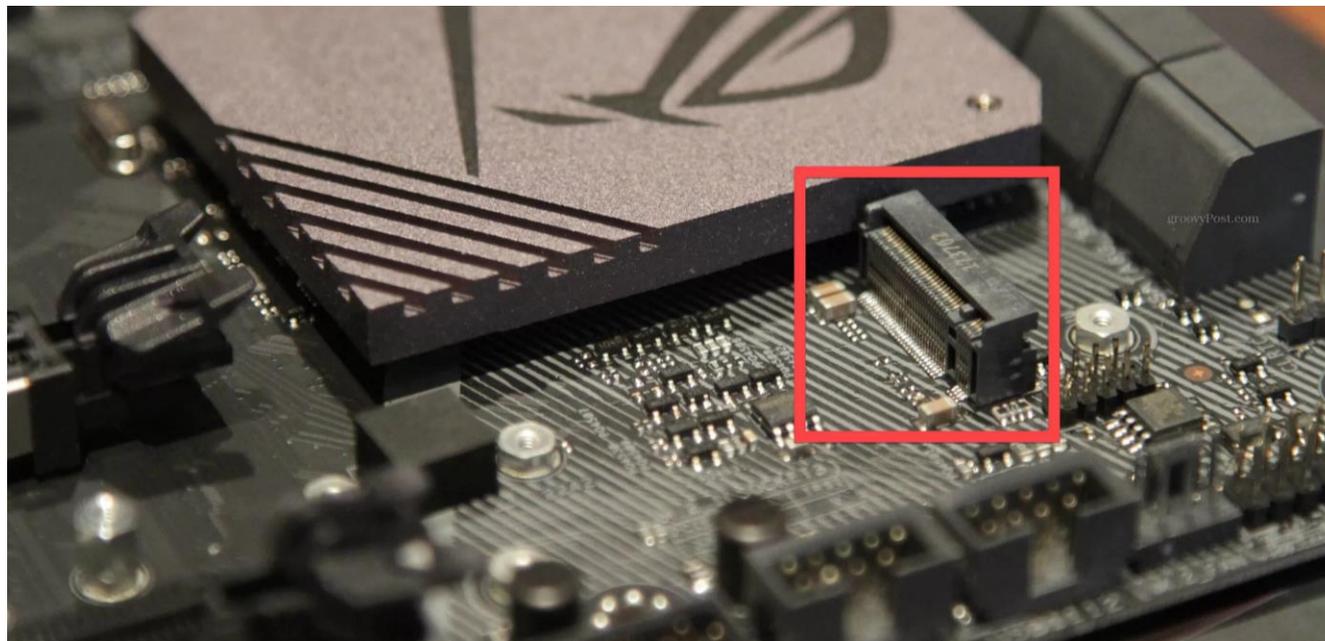


Интерфейсы SSD - NVMe

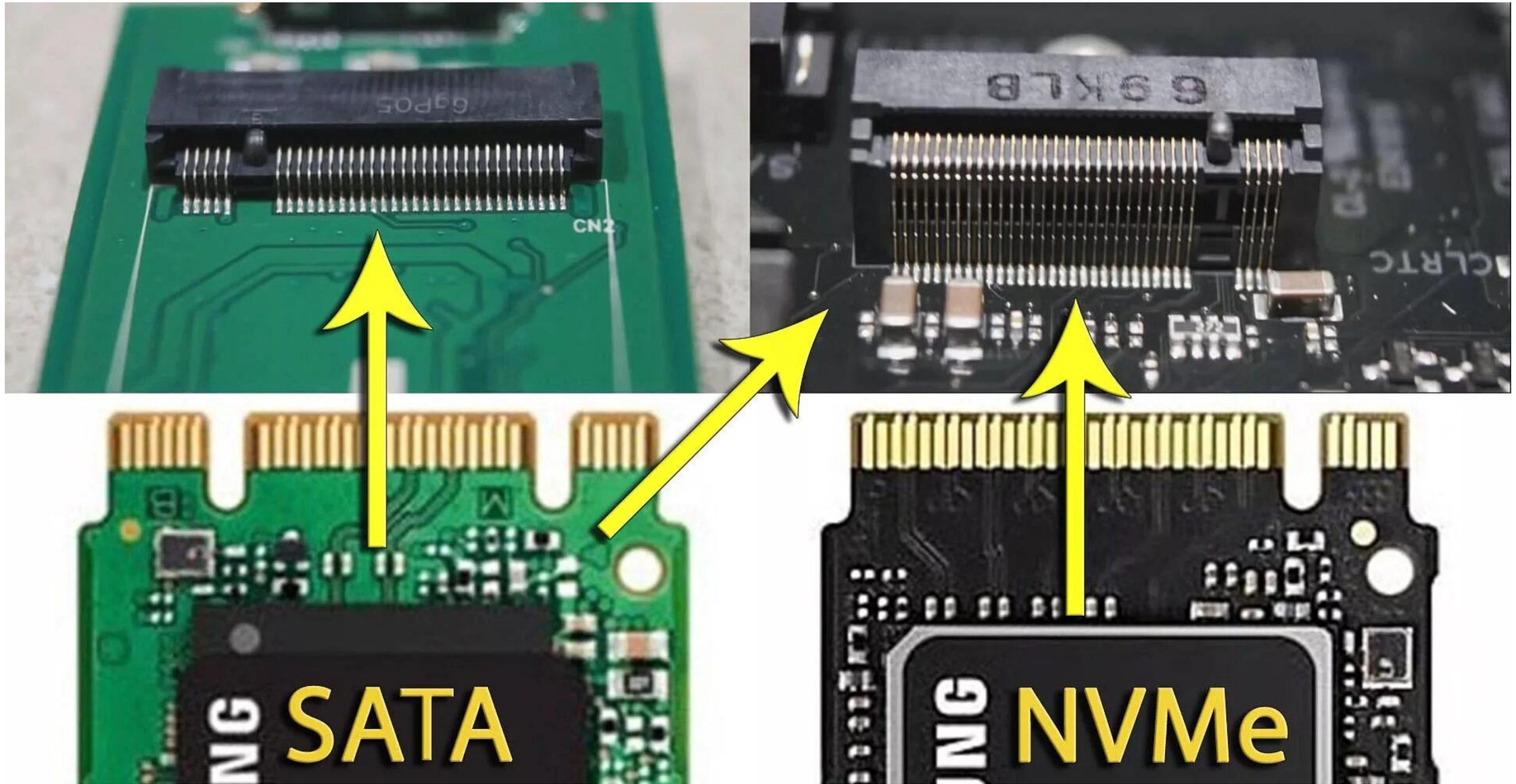
- **NVMe** (Non-Volatile Memory Express, энергонезависимая память) – это протокол, разработанный специально для твердотельных накопителей, подключаемых по шине PCIe.
- **Интерфейс NVMe – это именно интерфейс.**
- **В виде разъемов он может существовать как:**
 - **PCI-e как диск SSD;**
 - **PCI-e как переходник для разъемов M.2;**
 - **собственно разъем M.2 на материнской плате;**
 - **разъем U.2 на материнской плате.**
- Он обеспечивает намного более высокую скорость обмена данными по сравнению с SATA SSD, использующими AHCI, что объясняется сразу несколькими причинами:
 - **Параллелизм и глубина очереди.**
 - **Механизм прерываний.**
 - **Оптимизация под многоядерные процессоры.**
 - **Быстрый доступ к оперативной памяти.**

Интерфейсы SSD - NVMe

- **NVMe (Non-Volatile Memory Express)** используется, в основном, твердотельными накопителями форм-фактора M.2, работающими через полосу пропускания PCI Express.
- В частности, слот NVMe на любой материнской плате фактически использует четыре полосы пропускания PCIe (PCIe x4), и скорость этих четырех полос может сильно различаться в зависимости от поколения.



Сравнение SATA и NVMe



NVMe

- **Основные характеристики NVMe:**
- **Высокая скорость чтения и записи:** NVMe SSD достигают скорости чтения до 3,5 ГБ/с и записи до 3 ГБ/с. Это значительно быстрее, чем у SATA SSD, у которых максимальная скорость чтения — около 550 МБ/с и записи — около 520 МБ/с.
- **Низкая задержка доступа к данным:** время отклика NVMe-накопителей обычно составляет менее 1 миллисекунды, что обеспечивает мгновенный доступ к данным и повышает общую производительность системы.
- **Поддержка параллельной обработки данных:** NVMe использует до 64 000 очередей и 64 000 команд в каждой очереди, что значительно улучшает производительность в многозадачных средах. Это особенно полезно для серверов и дата-центров, где важно быстро обрабатывать большие объемы данных.
- NVMe поддерживают обратную совместимость, и в разъем PCIe Gen4 можно установить NVMe-накопитель версии Gen3 — для экономии денежных средств и с возможностью дальнейшего апгрейда.
- NVMe намного быстрее, чем интерфейс SATA за счет прямого подключения к шине PCI-e.

Поколения NVMe

- **NVMe 3-го поколения**

- Для материнских плат PCIe Gen 3.
- Теоретическая максимальная скорость диска составляет 4 ГБ/с при чтении/записи. Рыночные диски чаще работают со скоростью от 2,5 до 3,5 ГБ/с.
- Самые старые накопители NVMe. Тем не менее, они по-прежнему совместимы с более новыми платами ПК.

- **NVMe 4-го поколения**

- Для материнских плат PCIe Gen 4.
- Теоретическая максимальная скорость диска составляет 8 ГБ/с при чтении/записи. Реальная скорость накопителей варьируется от 4 до 7,5 ГБ/с.
- Диски NVMe второго поколения. Совместимость с новыми платами. Также совместимо с консолями текущего поколения (PS5 и Xbox Series S/X).

Поколения NVMe

- **NVMe 5-го поколения**

- Для материнских плат PCIe Gen 5.
- Теоретическая максимальная скорость диска составляет 16 ГБ/с при чтении/записи. Современные накопители обеспечивают скорость чтения и записи 10-12 ГБ/с.
- Производятся в настоящее время. Последняя модель по состоянию на август 2024 года

- **NVMe поколения 6 и 7**

- Для материнских плат PCIe Gen 6 и Gen 7. На самом деле, ещё не вышедших!
- Теоретическая скорость диска составит 32 ГБ/с и 64 ГБ/с, соответственно.
- Хотя очевидно, что PCI Express и остальная часть технологической отрасли нуждаются в инновациях, производители накопителей NVMe всё ещё заняты попытками максимально эффективно использовать возможности поколений 4 и 5.

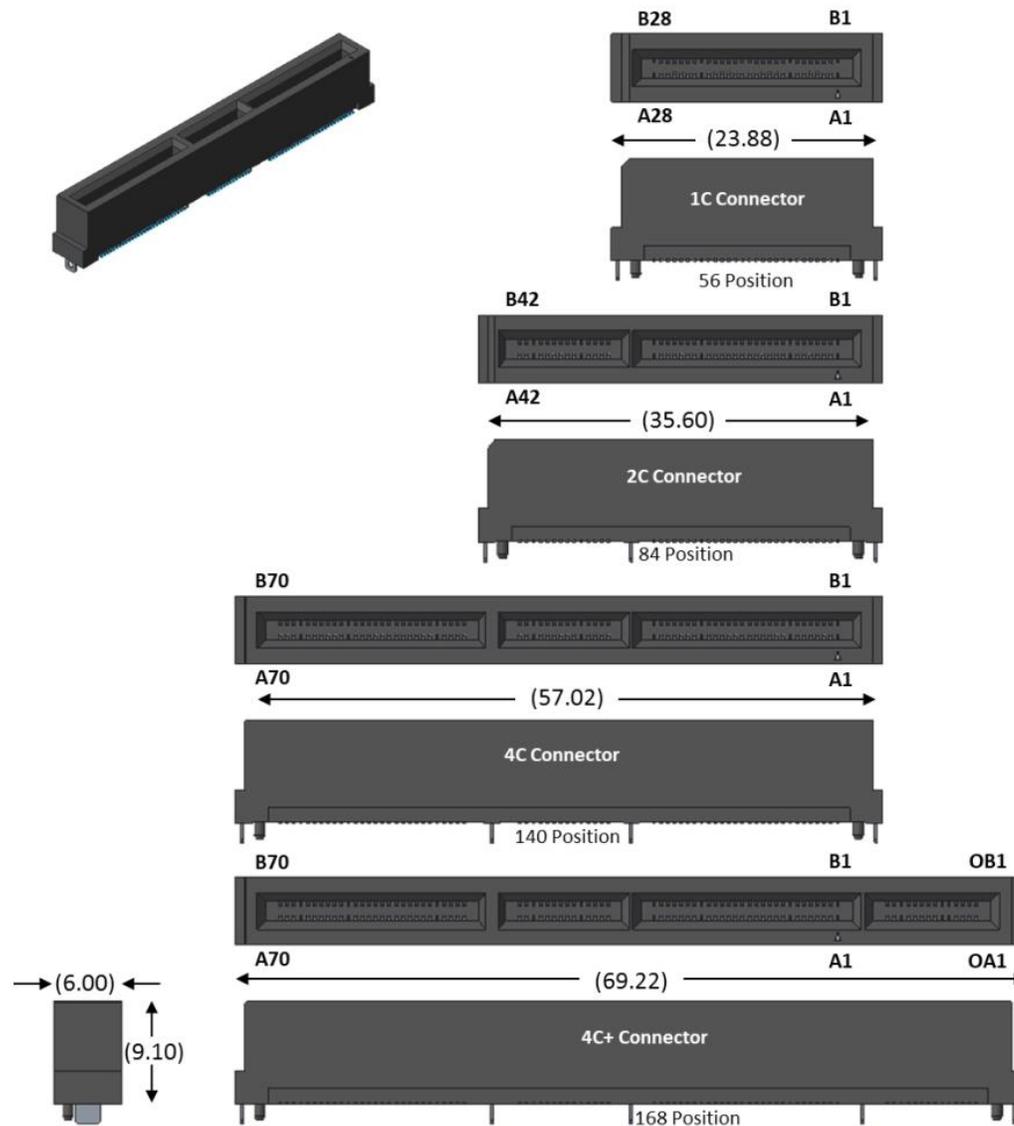
Интерфейс E3

E3 предназначен исключительно под накопители с интерфейсом PCIe.

В спецификацию заложена совместимость вплоть до версии 5.

Протокол передачи NVMe (NVMe-oF).

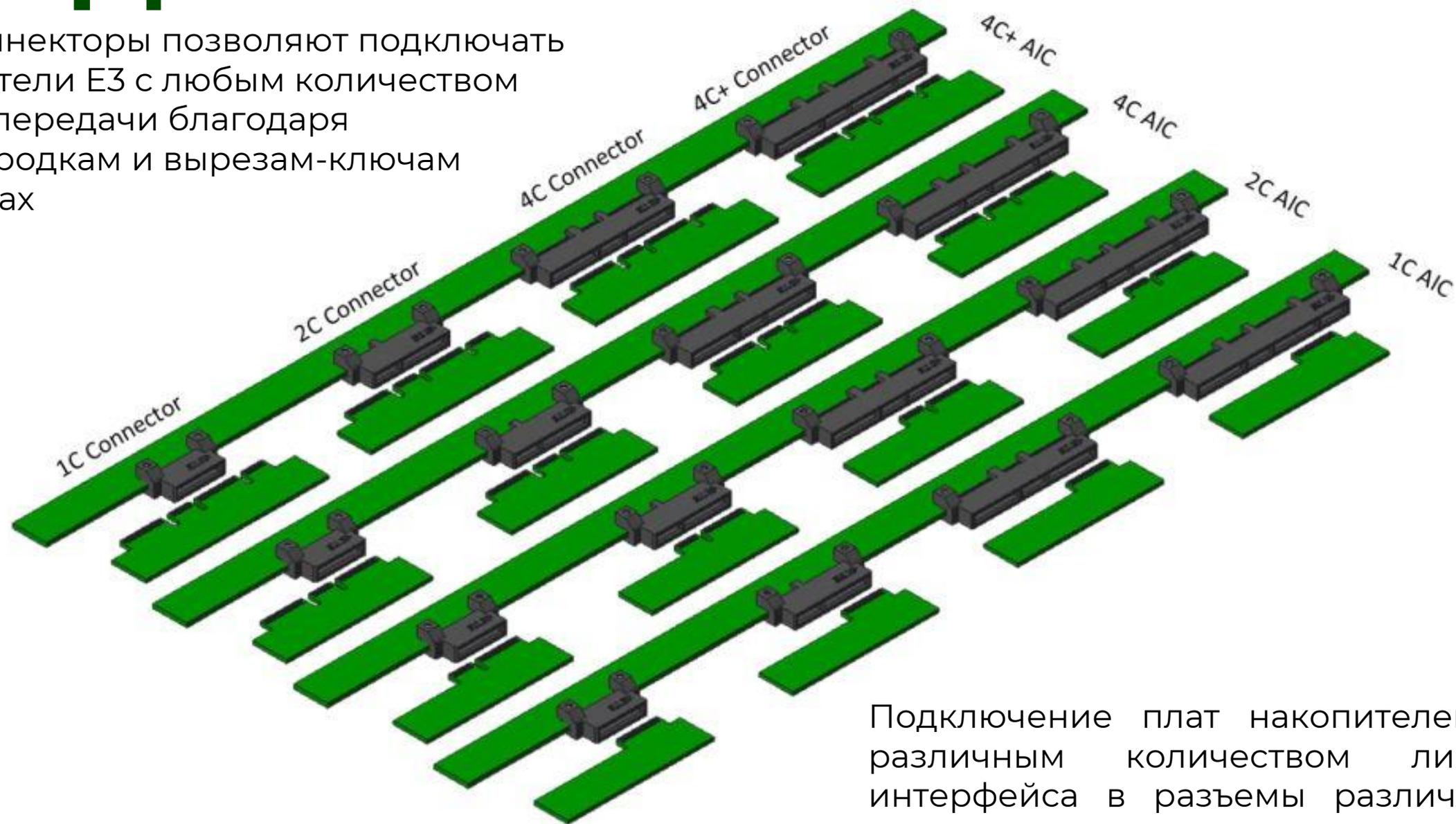
Интерфейсный разъем позволяет подводить к накопителю x4, x8, или x16 линий PCIe — это хороший задел на будущее, который делает заявку на долгую успешную жизнь форм-фактора даже при развитии хост-интерфейса и резком повышении требований к скорости передачи данных.



Четыре варианта коннекторов E3

Интерфейс E3

Все коннекторы позволяют подключать накопители E3 с любым количеством линий передачи благодаря перегородкам и вырезам-ключам на платах



Подключение плат накопителей с различным количеством линий интерфейса в разъемы различной ширины

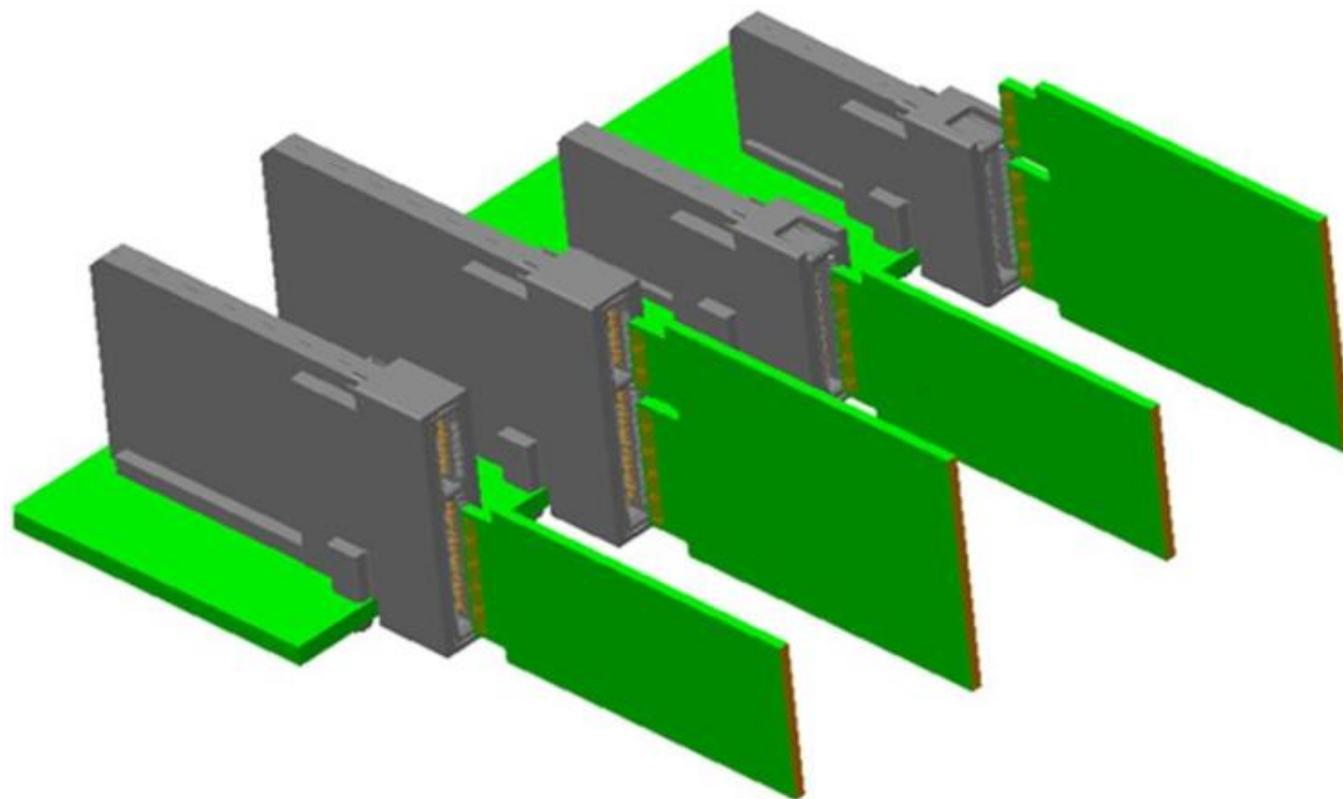
Интерфейс E3

Для E3 придумано еще одно очень важное новшество — ортогональный разъем.

Ортогональный разъем позволяет обойтись без вертикально устанавливаемой объединительной платы, которая даже при наличии специальных вырезов (резко увеличивающих сложность разводки и изготовления платы) сильно затрудняет прохождение воздушных потоков. Теперь объединительная плата может располагаться параллельно потоку воздуха.

E3 допускает подключения перпендикулярно плате, параллельно ей, а также торцевое расположение разъема.

Пример монтажа ортогональных разъемов и подключения к ним накопителей



Вертикально расположенные (ортогональные) коннекторы E3 различной ширины с подключенными платами накопителей

EDSFF E1.S



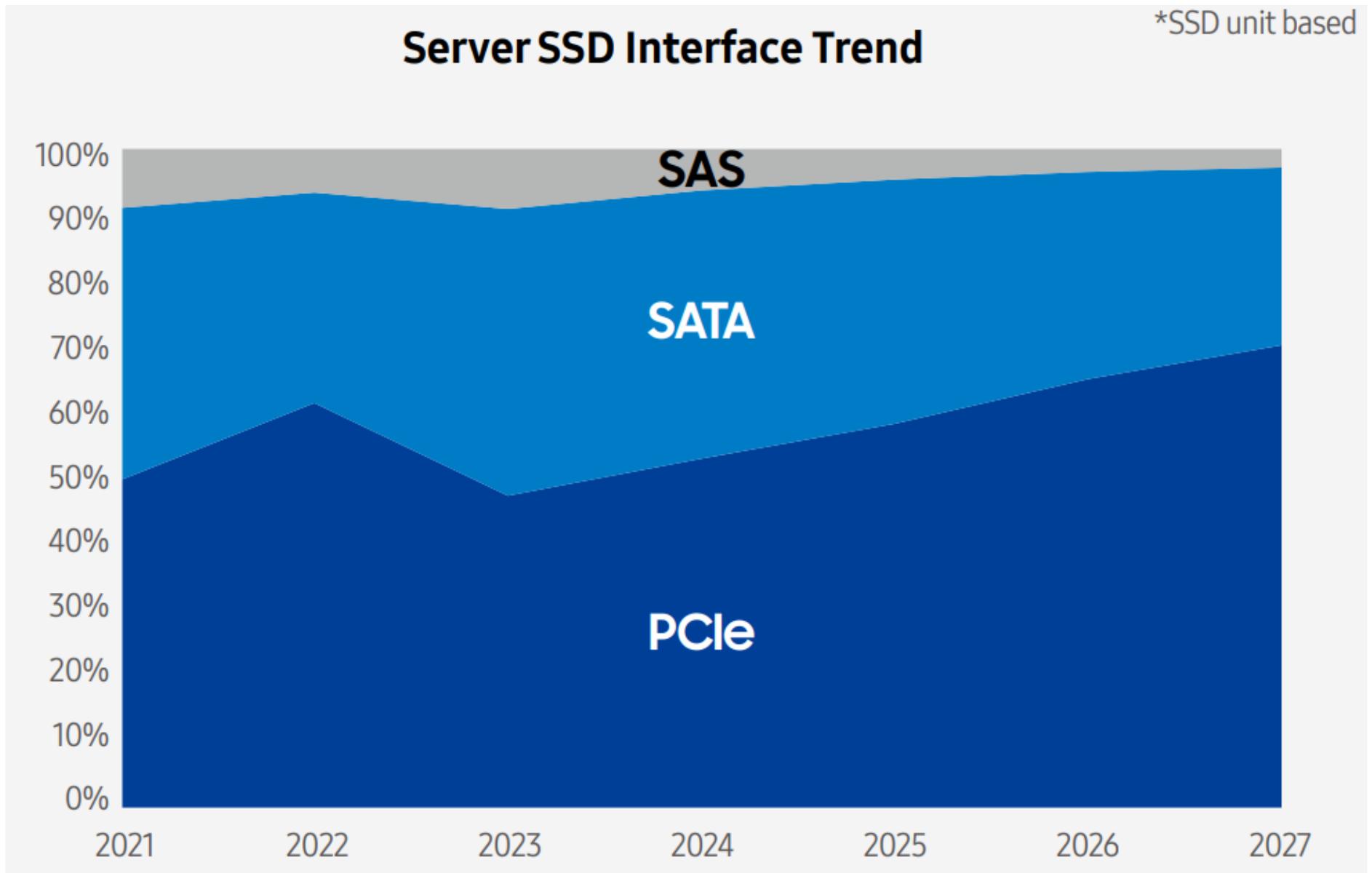
Kioxia XD6 E1.S Family 4



Система хранения с SSD накопителями KIOXIA в E3.S форм-факторе

Тенденция развития интерфейсов серверных SSD

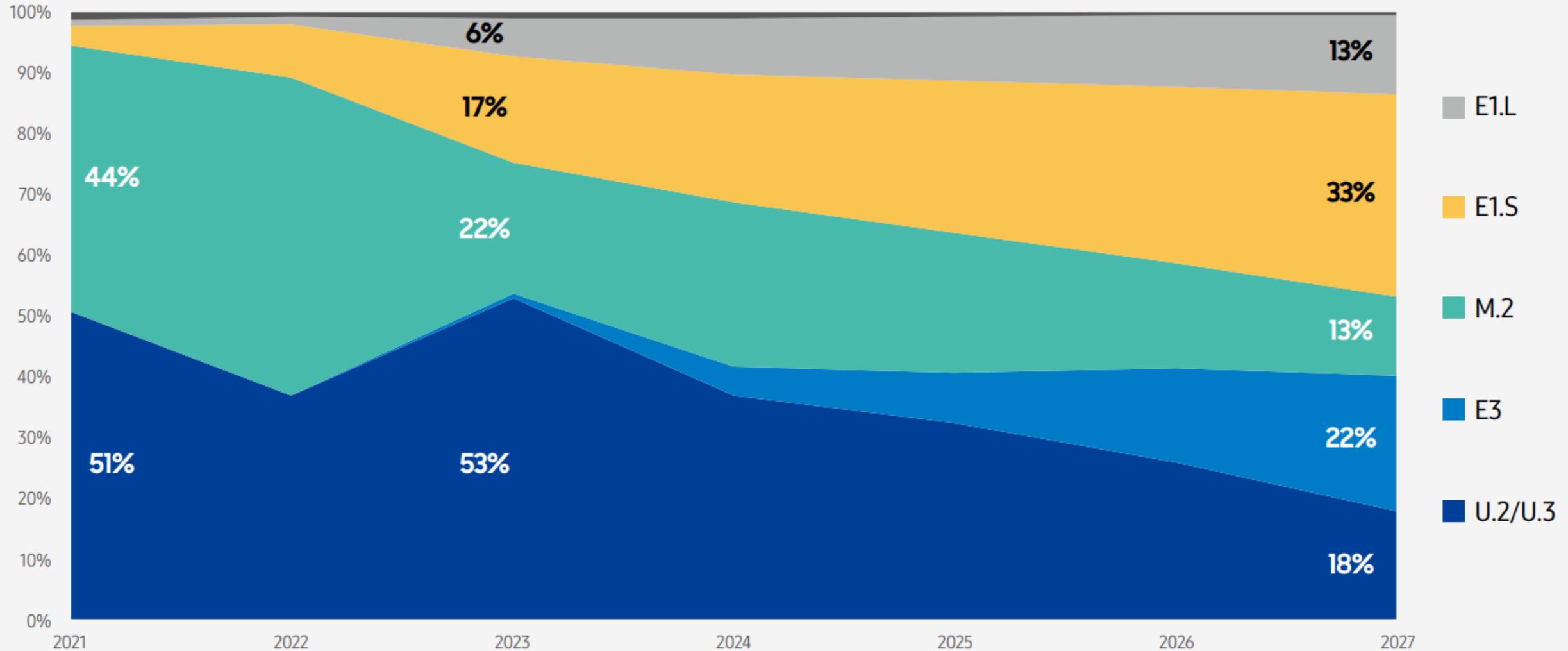
Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



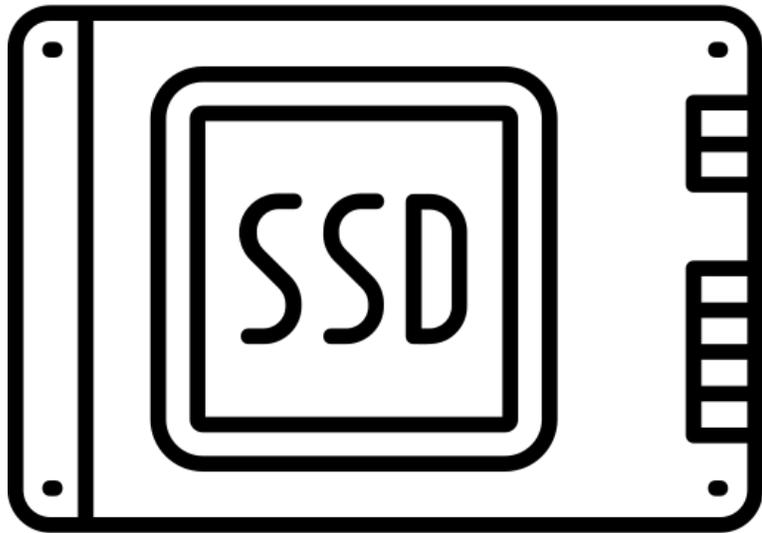
Source : Forward Insight 2023.3Q

Тенденция изменения форм-фактора SSD PCIe для серверов

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



Source : Forward Insight 2023.3Q



**Работа SSD.
Запись, чтение и
удаление файлов.
И другие дополнительные
функции контроллера SSD.**



USB-flash, microSD/SD, SSD-накопитель

- **USB-флеш-накопитель, карта памяти microSD/SD, SSD-накопитель представляют собой, на первый взгляд, разные устройства, хотя на самом деле являются «близкими родственниками».**
- **Все три типа устройств относятся к твердотельным накопителям на основе NAND флеш-памяти.**
- **Забавный факт, именуемые в быту «SSD-диски» не являются дисками в прямом смысле. Название «диск» исторически унаследовано от жестких магнитных дисков (Hard Disk Drive — HDD).**
- **Несмотря на разницу в применении, архитектура всех твердотельных накопителей в общем виде выглядит одинаково.**

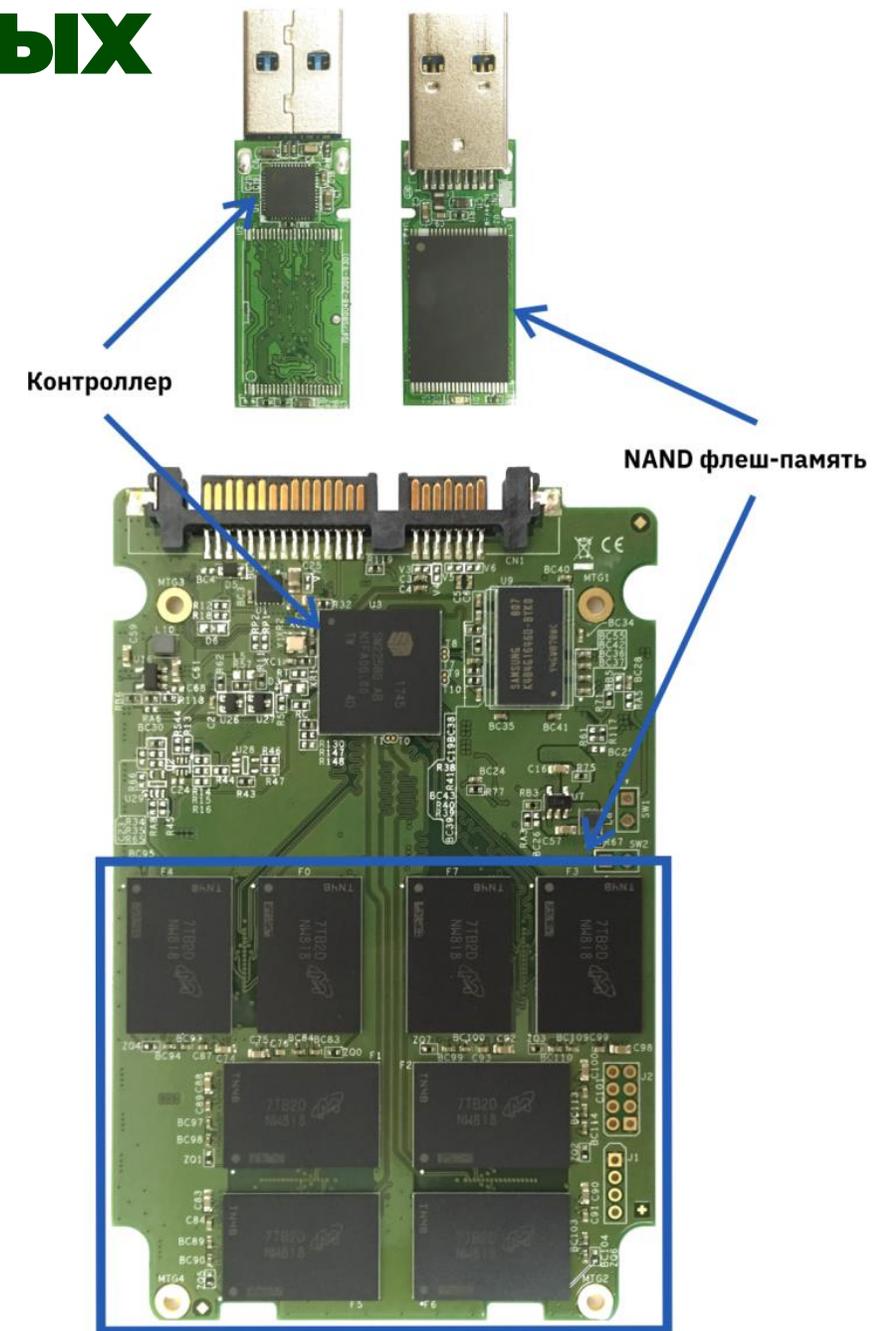
USB-flash, microSD/SD, SSD-накопитель



Архитектура твердотельных накопителей, без DRAM кэша, в общем виде

Архитектура твердотельных накопителей

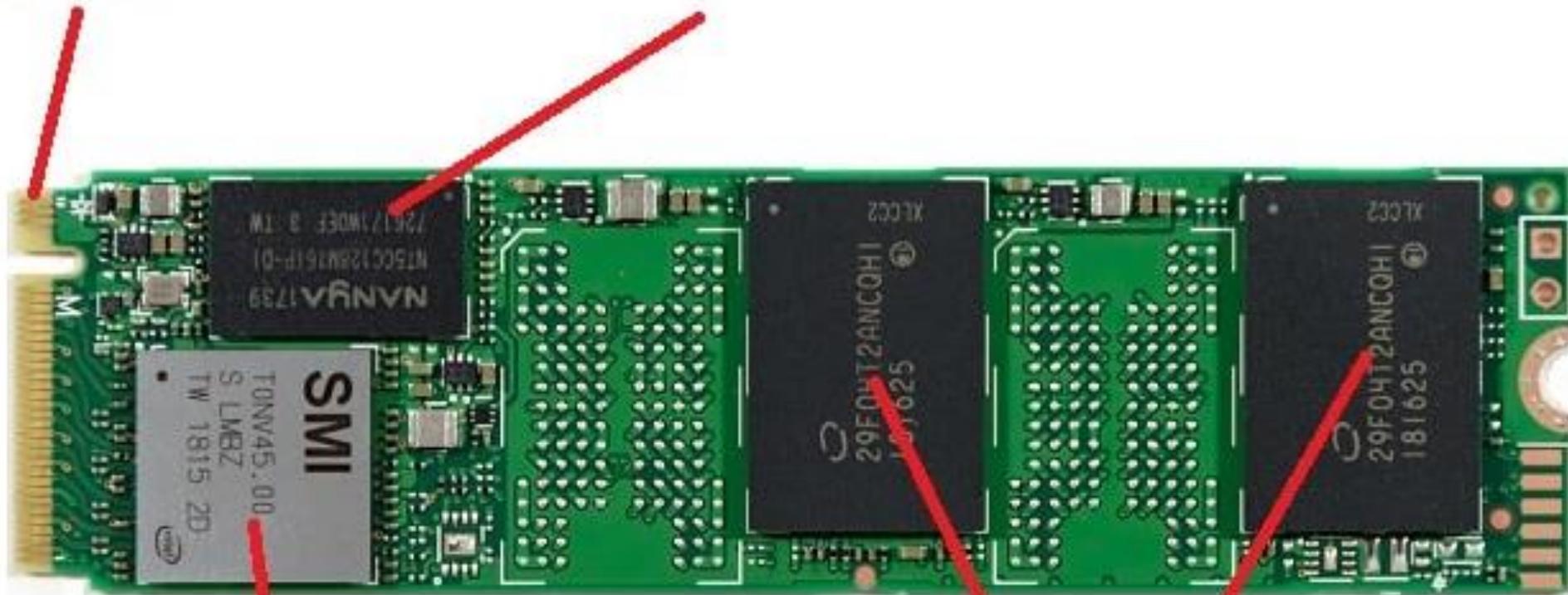
- В состав твердотельных накопителей входят:
- **Контроллер** – основной элемент твердотельного накопителя, выполняющий функции чтения, записи, контроля целостности данных и исправления битовых ошибок, возникающих в структуре NAND флеш-памяти. С одной стороны, контроллер подключается к хосту через внешний интерфейс SATA / USB / SD / PCIe, с другой – к микросхемам NAND флеш-памяти через интерфейс подключения ONFI / Toggle
- **NAND флеш-память** – массив микросхем, формирующий объем памяти накопителя
- **DRAM-кэш** – на дешевых и старых моделях SSD отсутствует, на всех новых моделях используется в обязательном порядке.



SSD

Интерфейсный
разъем

DRAM



Контроллер

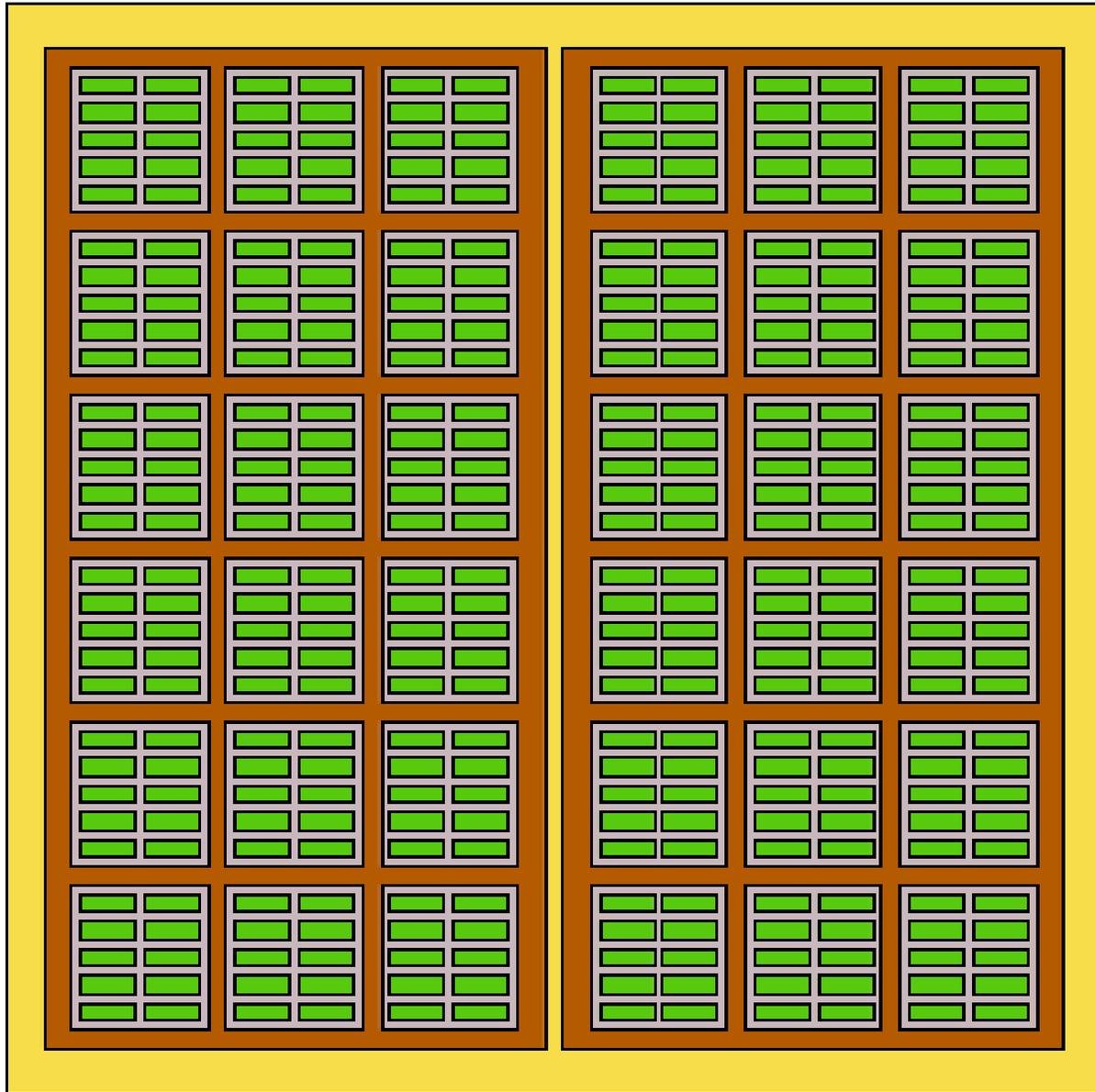
NAND

Структура памяти NAND

- **Флэш-память NAND организована иерархически:**

1. **Ячейка (Cell):** Это базовый элемент хранения информации. В зависимости от технологии, одна ячейка может хранить 1 бит (SLC), 2 бита (MLC), 3 бита (TLC) или 4 бита (QLC) данных.
2. **Страница (Page):** Группа ячеек, объединенных вместе. Страница – это наименьшая единица данных, которую можно записать во флэш-память. Размер страницы обычно составляет несколько килобайт (например, 4 КБ, 8 КБ, 16 КБ).
3. **Блок (Block):** Группа страниц. Блок – это наименьшая единица данных, которую можно стереть. Операция стирания всегда выполняется над целым блоком. Блок может содержать сотни страниц (например, 128, 256, 512).
4. **План (Plane):** Группа блоков, которые могут работать параллельно. Это увеличивает скорость чтения и записи.
5. **Чип (Die):** Физический чип флэш-памяти, содержащий несколько планов.
6. **Канал (Channel):** Независимый путь передачи данных между контроллером и чипами памяти. SSD может иметь несколько каналов для увеличения производительности.

Структура памяти NAND



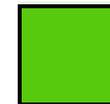
Чип (Die)



План (Plane)



Блок (Block)



Страница (Page)

Правила доступа к NAND флеш-памяти

- **Блок.** Весь объем микросхемы разбит на блоки. Объем блока составляет порядка единиц мегабайт. (Например, в архиве, это книга или блокнот в переплете с прошитыми листами)
- **Стирание блока.** Блок может быть стёрт, при этом каждый бит информации в нем будет установлен в «1». Нельзя стереть только часть блока. (Например, книгу можно выкинуть, но нельзя вырвать из книги лист, не нарушив целостность книги)
- **Страница.** Блок разделен на страницы размером порядка десятков килобайт. (Например, книги и блокноты тоже имеют страницы)
- **Программирование страницы.** В NAND флеш-память могут быть записаны (запрограммированы) одновременно данные всей страницы, биты устанавливаются при программировании в значения «0» или «1». (Например, чистые страницы книги или блокнота можно заполнить информацией только единожды)
- **Порядок программирования страниц.** Страницы в пределах блока должны программироваться строго в порядке возрастания их номеров. (Например, последовательная запись информации в книгу или блокнот)
- **Порядок перезаписи.** Каждая страница может быть запрограммирована только один раз. Для повторного программирования страницы необходимо стереть полностью блок. (Например, если в уже готовом издании книги необходимо заменить страницу, то придется перепечатать всю книгу и заново сделать переплет)
- **Задачи записи и чтения непосредственно NAND флеш-памяти решает контроллер.**

Кэширование (Caching)

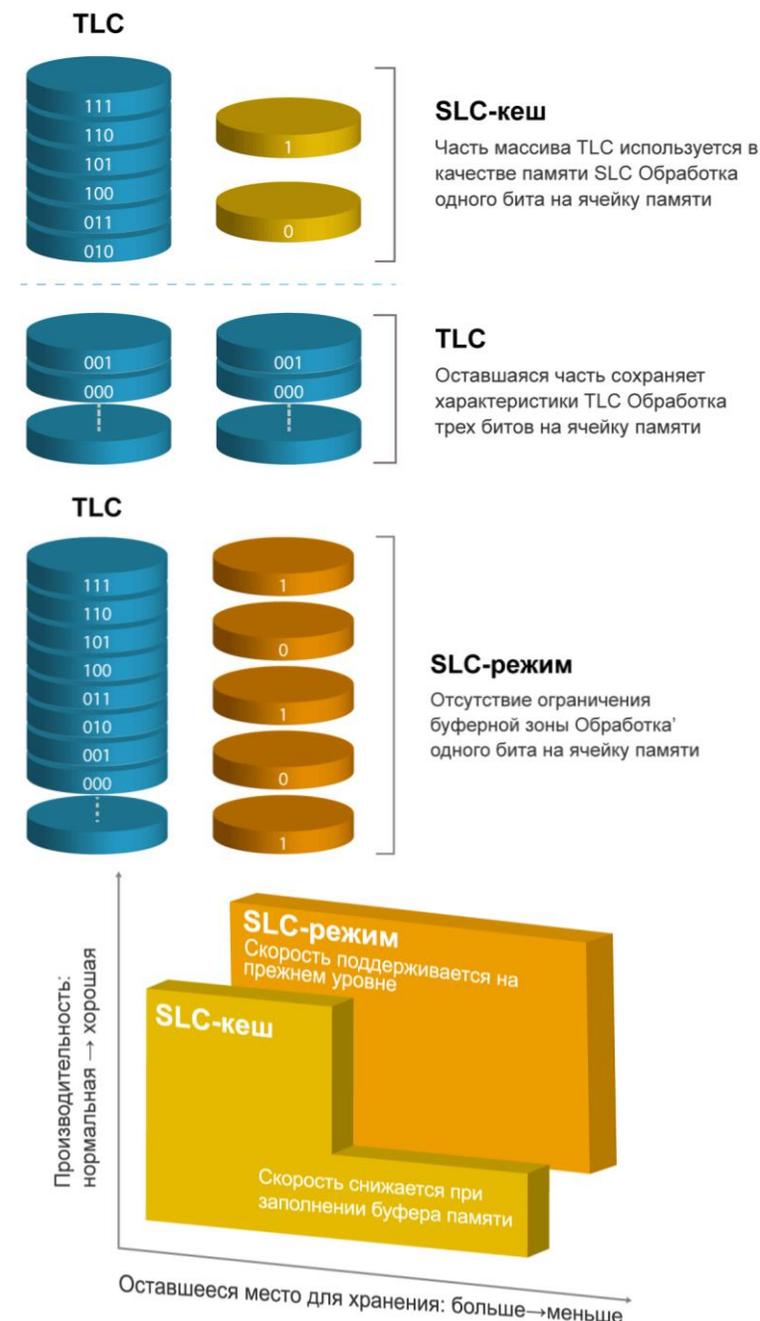
- **Кэширование в SSD** — это метод, который используется для повышения производительности операций чтения и записи.

- **Типы кэша:**

- **SLC-кэш (Single-Level Cell Cache):** Быстрый кэш, использующий ячейки, которые хранят один бит информации. Это обеспечивает высокую скорость записи, но ограничивает объем кэша.
- **DRAM-кэш:** Используется для хранения метаданных и временных данных, что ускоряет доступ к часто запрашиваемой информации. На SSD устанавливается дополнительная микросхема DRAM-кэша.
- **TLC и QLC кэш:** В некоторых SSD также используется кэширование на основе TLC (Triple-Level Cell) и QLC (Quad-Level Cell) NAND Flash. Эти типы кэша могут имитировать SLC-режим записи, что позволяет улучшить производительность, хотя и с меньшей эффективностью по сравнению с настоящим SLC-кэшем.
- **Кэширование на уровне контроллера:** Некоторые SSD используют алгоритмы кэширования, которые управляют данными между различными уровнями памяти, включая использование кэша на уровне контроллера для оптимизации операций чтения и записи. Например технология фирмы Transcend Over-Provisioning (OP), которая резервируют некоторый объем памяти (SSD) под нужды контроллера в качестве кэш-памяти.

- **Ключевые функции кэширования:**

- **Ускорение операций записи:** Записи сначала происходят в кэш, а затем асинхронно переносятся на основной массив NAND-памяти. Это снижает задержки при записи.
- **Оптимизация операций чтения:** Часто запрашиваемые данные могут храниться в кэше, что ускоряет доступ к ним.



Статический SLC-кэш

- Современные накопители используют контроллеры, которые могут работать с чипами NAND в разных режимах в пределах одной аппаратной платформы. В настройках контроллера производитель может сконфигурировать NAND-память в режим TLC или ее же — в режим QLC, получив дополнительный объем на той же платформе и за те же деньги. Кроме того, разные области памяти могут быть сконфигурированы по-разному для работы в разных режимах.
- **Как правило, из дополнительного, неадресуемого пула ячеек выделяется область, которую конфигурируют для работы в режиме SLC. Эта область используется в качестве буфера: запись в режиме SLC во много раз быстрее записи в режиме TLC (про QLC промолчим), а сконфигурированные таким образом ячейки выдерживаюткратно большее число циклов записи-стирания.**
- **На графике видна ступенька сверхбыстрой записи (данные записываются в статический SLC-кэш), после чего скорость записи резко проседает:** данные сохраняются напрямую в ячейки TLC. Никаких побочных эффектов не наблюдается; данные из SLC-кэша будут записаны в основную область тогда, когда контроллер освободится.

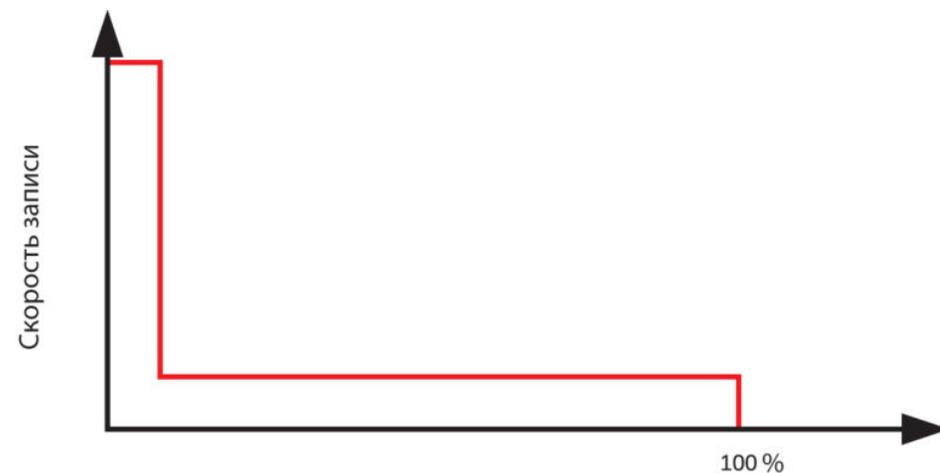


Схема работы статического SLC-кэша

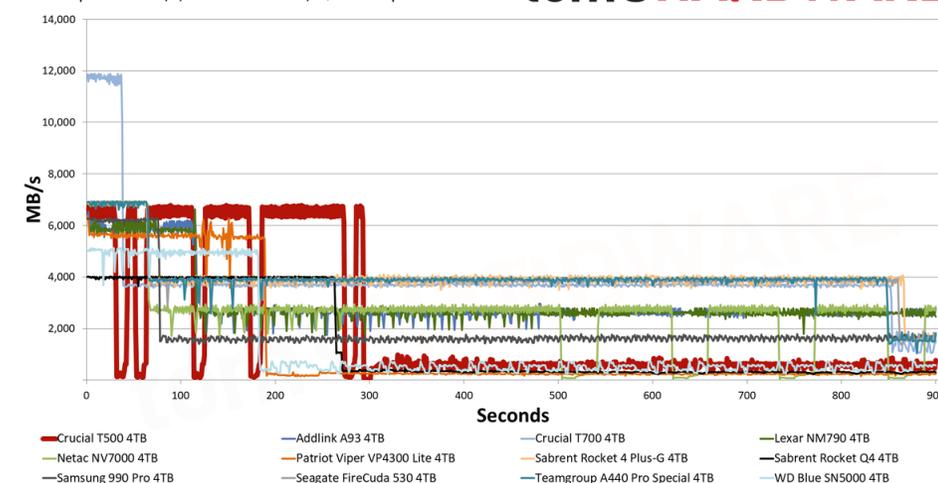
Статический SLC-кэш не зависит от свободного места на диске, а используемые для его создания ячейки берутся из дополнительной, неадресуемой емкости твердотельного накопителя.

Статический SLC-кэш

- Функция SLC Cache позволяет эффективно улучшить производительность чтения/записи SSD. Ключевое слово в этом: «часть пространства», когда емкость последовательной записи достигает верхнего предела «части пространства», скорость чтения/записи возвращается к исходному значению TLC NAND Flash. Для SSD без кэша DRAM, представленных на рынке, указанная скорость чтения/записи в основном измеряется с помощью функции SLC Cache.
- Поскольку для создания статического буфера используются дополнительные ячейки, которые не входят в основной объем накопителя, такой кэш выгоден для пользователя, но невыгоден производителю: приходится устанавливать некоторый объем дополнительной памяти, который невозможно «продать», включив в паспортный объем. Соответственно, размер статического кэша всегда невелик, а в некоторых бюджетных моделях отсутствует вовсе.
- В то же время производителю нужно продать не только объем, но и скорость. Обозреватели стали опытными и для тестирования SSD используют не только CrystalDiskMark (который показывает практически только запись в быструю буферную область), но и специальные инструменты, быстро выявляющие реальную скорость записи.

IOMeter Sustained Sequential Write
Write Speed in MB/s, 1MiB Block Size, Queue Depth 32

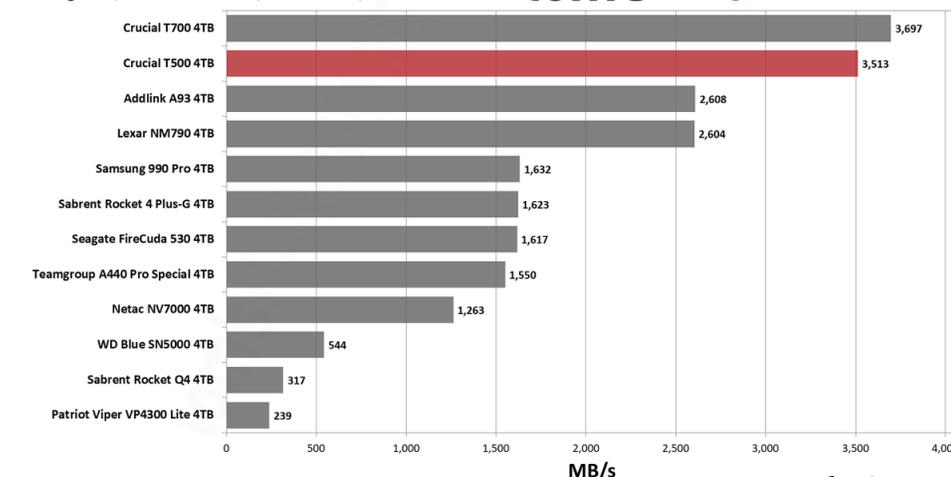
tom's HARDWARE



работа статического SLC-кэша

Steady State Write Performance
Average MB/s after 15 minutes, 1MiB Blocks, QD32

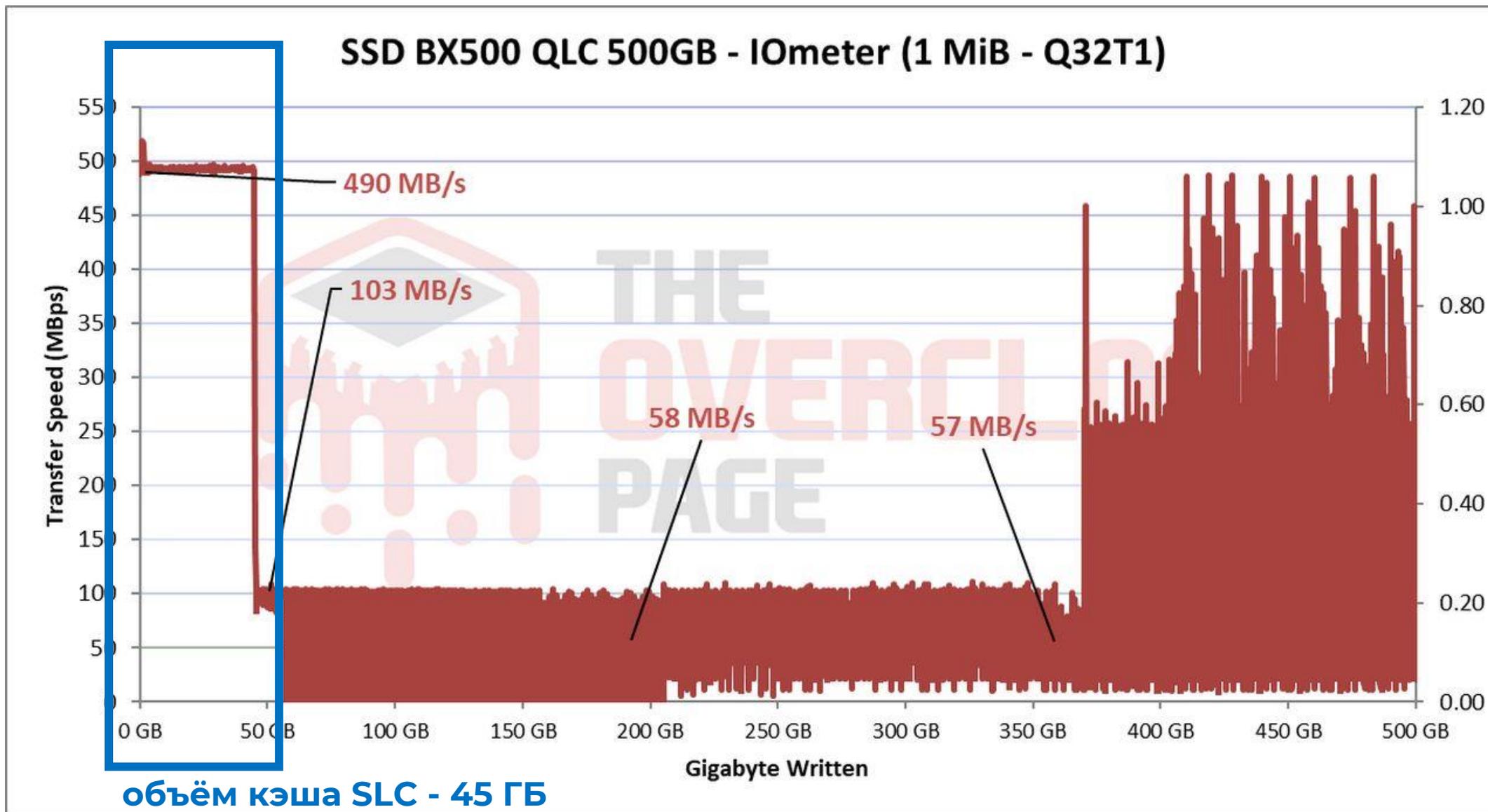
tom's HARDWARE



средняя скорость записи за пределами буфера

Статический SLC-кэш

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

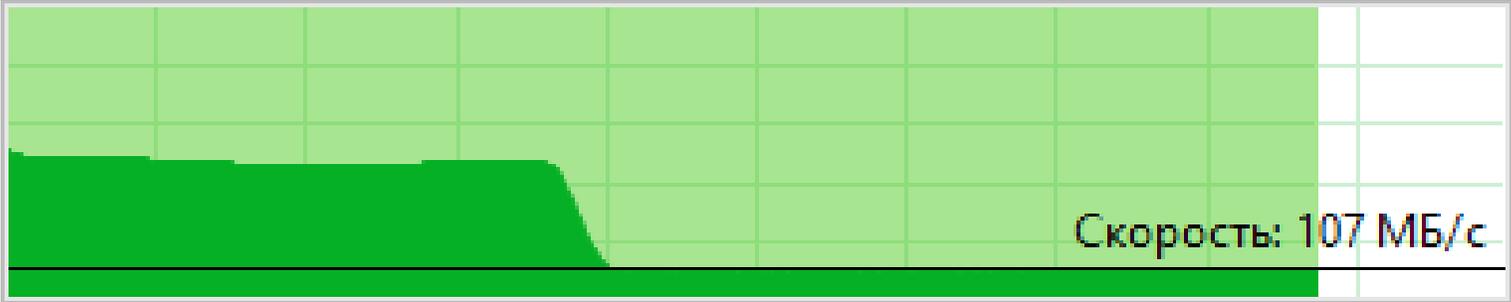


Скорость после заполнения SLC-кэша падает

Выполнено 87%

Копирование 1 элемента из A400R 256GB (D:) в A400 240GB (E:)

Выполнено 87%

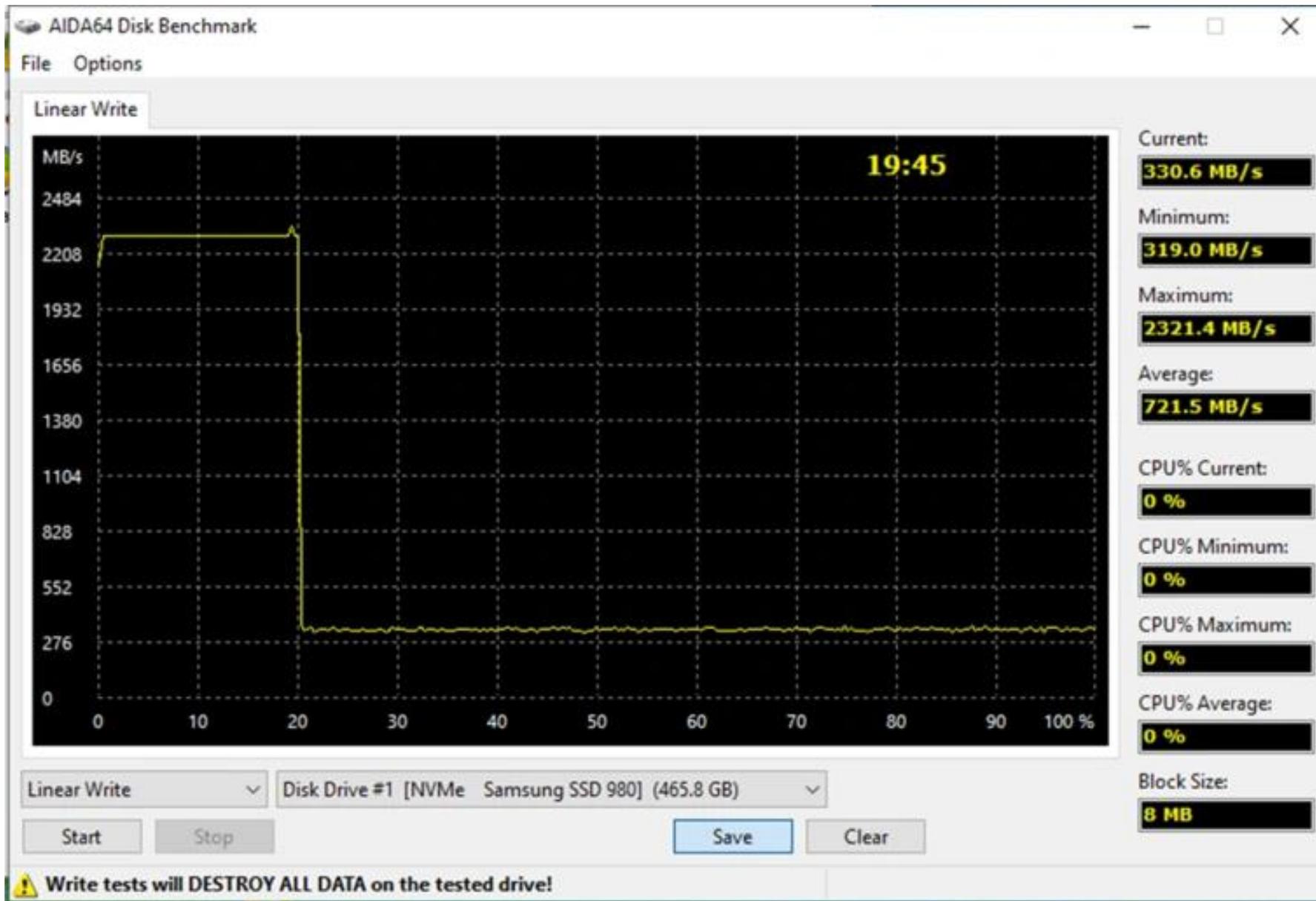


Скорость: 107 МБ/с

Имя: test.file
Оставшееся время: Примерно 25 с
Осталось элементов: 1 (2,21 ГБ)

Меньше сведений

Максимальные линейные скорости (SLC-режим)



Динамический pSLC-кэш

- **Динамический pSLC-кэш** использует часть свободного пространства накопителя, временно переключая ячейки в режим псевдо-SLC. Объем доступного динамического кэша малопредсказуем; он зависит от соотношения занятого и свободного места на диске, конфигурации контроллера и степени износа ячеек. Подходы производителей к выделению динамического pSLC-буфера сильно отличаются.
- С работой статического кэша разобрались; ничего сложного в ней нет. Однако со временем производители осознали, что за дополнительную память приходится платить — или увеличением числа физических ячеек, или сокращением доступного пользователю объема (например, с терабайта до 960 Гбайт — наверное, ты еще помнишь такие диски). В результате в дополнение к статическому (а впоследствии для некоторых бюджетных моделей — и вместо него) появился динамический кэш псевдо-SLC (pSLC).

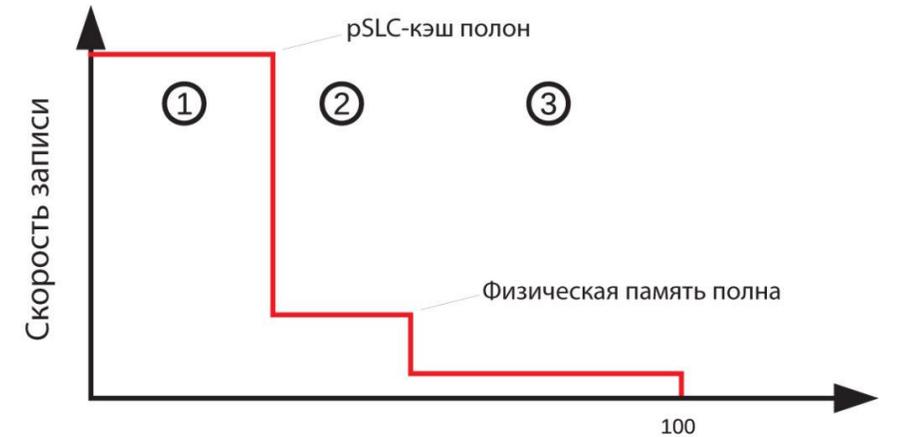
Динамический pSLC-кэш

- Технология динамического кэша pSLC стала применяться и в промышленных решениях для хранения данных. В отличие от статического кэша pSLC, характеристика которого показана на рисунке 2, до 100% флэш-памяти NAND используются динамически в качестве pSLC-кэша в зависимости от степени заполнения среды хранения, что вызывает осложнения по следующим причинам.
- Скорость записи среды хранения зависит не только от количества данных, записанных без прерываний, но и от степени заполнения памяти. В результате скорость записи становится непредсказуемой.
- Динамическое изменение конфигурации блоков флэш-памяти в виде pSLC или TLC-памяти ухудшает надежность приложений, особенно в промышленном диапазоне рабочей температуры. Допускается разве что одно изменение из pSLC в MLC-память, но оно осуществляется только в пределах 1% разрешенных pSLC-циклов.
- Все производители динамических NAND-накопителей переходят на использование статического кэша после нескольких циклов программы и стирания. До этого наилучшие результаты достигались при проведении коротких испытаний на скорость, в которых емкость полностью не заполнялась. Спустя небольшое время эксплуатации скорость среды хранения начинает постоянно уменьшаться. Если это обстоятельство не учитывается, в реальных условиях эксплуатации могут возникнуть проблемы.



Заполнение пользовательской памяти, %

Запись с динамическим pSLC-кэшем



Заполнение пользовательской памяти, %

Прямая запись с динамическим pSLC-кэшем

DRAM-кэш

- **Кэш DRAM, представляет собой отдельный чип на печатной плате SSD.**
- Кэш-память DRAM является неотъемлемой частью современных твердотельных накопителей, обеспечивая повышенную производительность, экономичность и надежность. Используя высокоскоростную память DRAM в качестве буфера, SSD могут обеспечивать более высокую скорость чтения и записи, сокращать задержки, оптимизировать взаимодействие с пользователем и смягчать ограничения флэш-памяти NAND. Также буферизация записей в DRAM снижает количество записей в Flash, что продлевает срок службы накопителя.

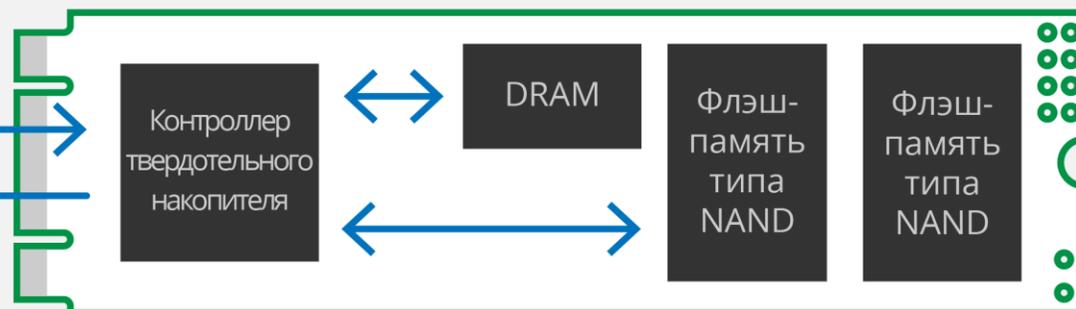
Хост

Твердотельный накопитель (с DRAM-кэшем)



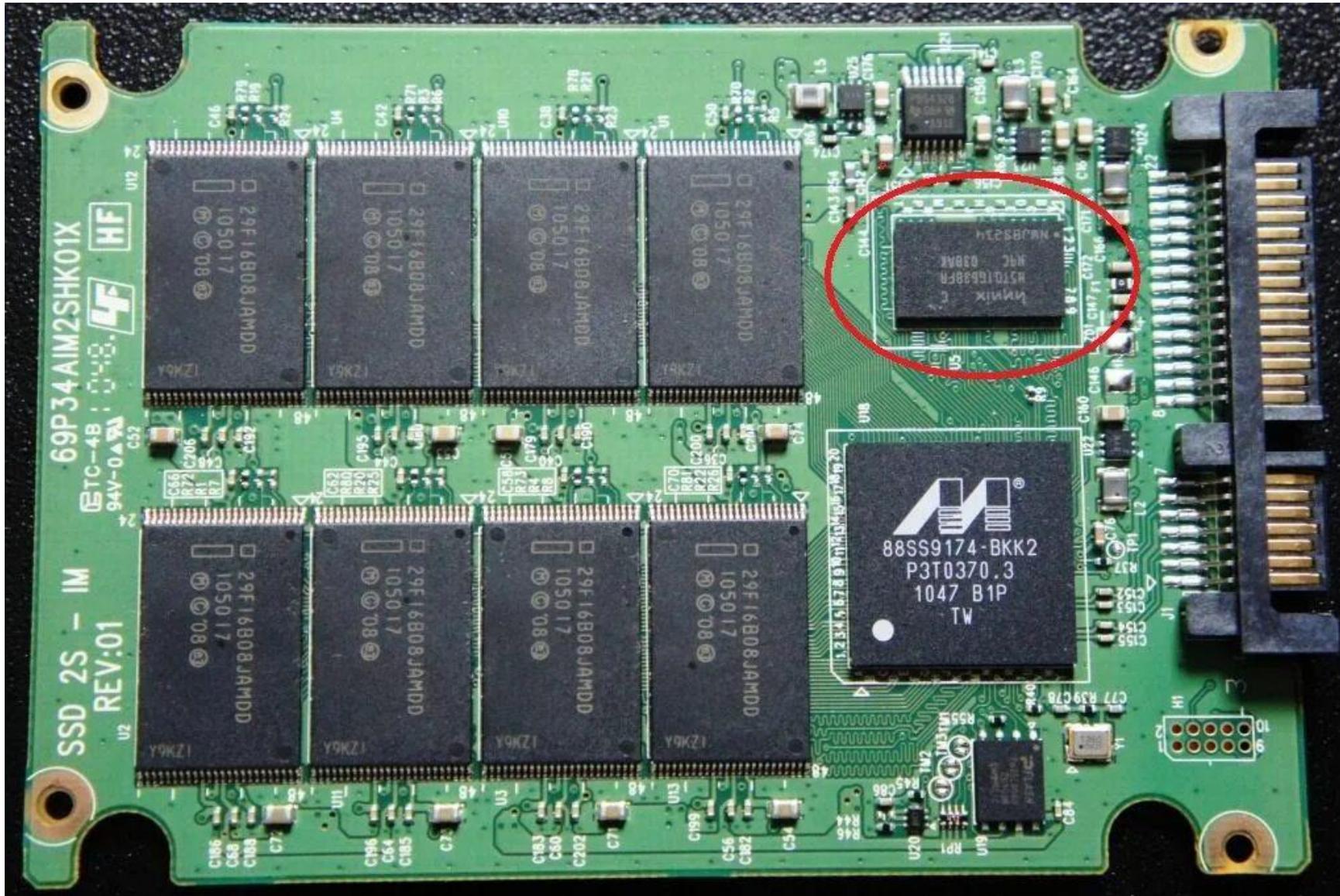
1 Хост выдает команду записи контроллеру твердотельного накопителя.

2 Контроллер отправляет хосту сигнал подтверждения получения команды.



3 Контроллер переписывает данные из DRAM-кэша во флэш-память.

DRAM-кэш



DRAM-кэш



DRAM-кэш

Основные функции DRAM-кэша:

1. Буферизация данных:

DRAM-кэш служит промежуточным буфером для операций записи и чтения. Это позволяет временно хранить данные, прежде чем они будут записаны в основную память Flash, что значительно ускоряет операции записи.

2. Снижение задержек:

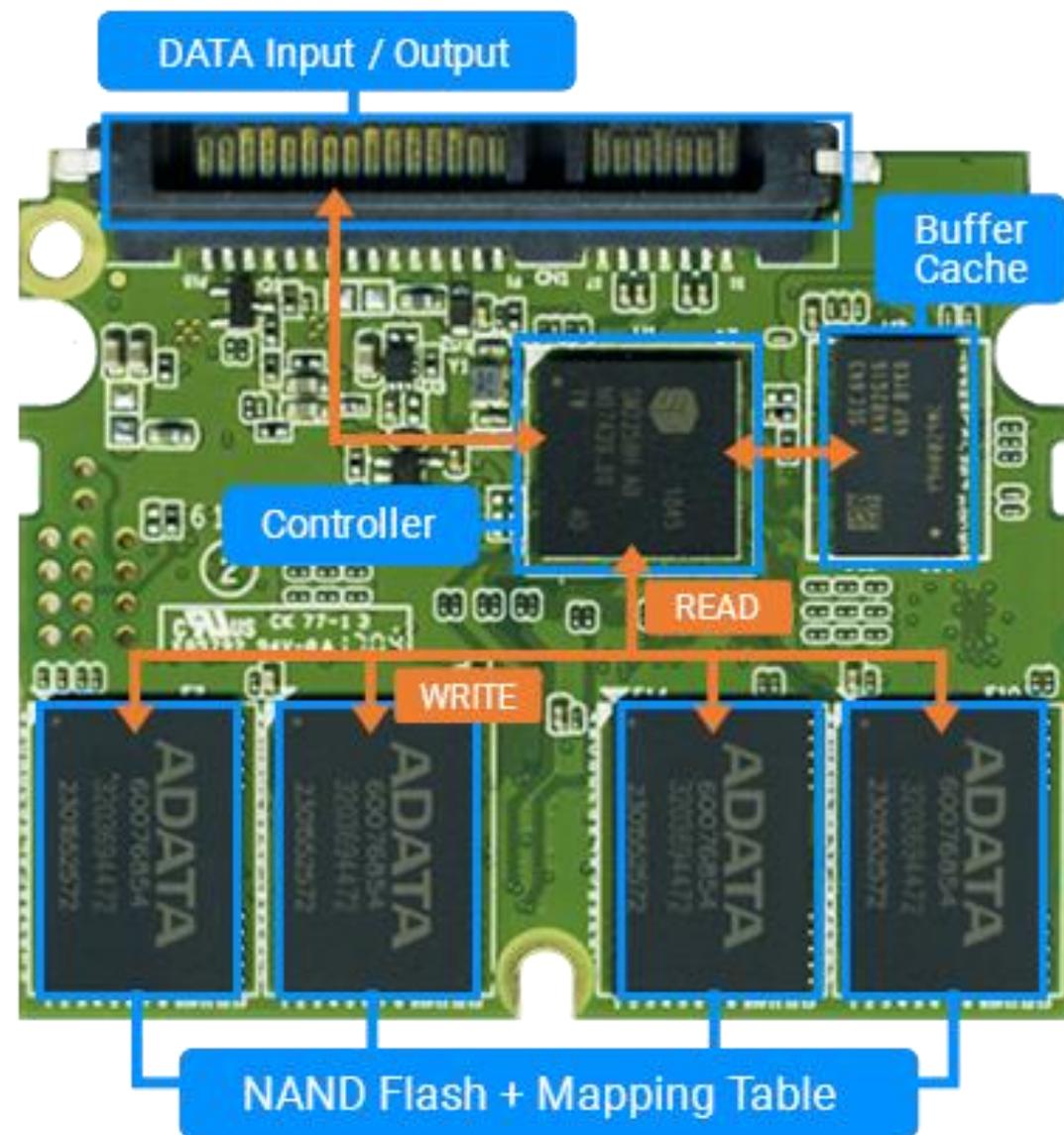
Использование DRAM-кэша помогает уменьшить время доступа к данным, так как операции чтения из DRAM происходят быстрее, чем из Flash-памяти. Это особенно важно для высокопроизводительных приложений, требующих быстрого отклика.

3. Управление метаданными:

DRAM-кэш часто используется для хранения метаданных, таких как таблицы трансляции адресов (например, таблицы FTL), что позволяет ускорить процесс преобразования логических адресов в физические.

4. Поддержка параллельных операций:

DRAM-кэш позволяет выполнять параллельные операции ввода-вывода, что улучшает общую производительность SSD, особенно в многопоточных сценариях.

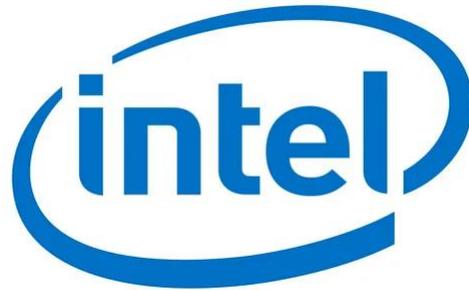


Контроллер



- **Пожалуй, одна из наиболее важных частей любого накопителя, это контроллер.**
- По сути, это процессор, в котором используются от одного до нескольких ядер.
- Он обеспечивает обмен данными с шиной (SATA или PCIe), а также управляет операциями записи/чтения в ячейки памяти, контролирует состояние ячеек, выполняет их обслуживание и прочую вспомогательную работу. От того, насколько эффективно он этим занимается, и зависит быстродействие всего накопителя.
- **Производителей контроллеров существенно меньше брендов, под которыми выпускаются SSD-накопители.**

Часть производителей контроллеров



Контроллер FTL (Flash Translation Layer)

- **SSD оборудованы внутренним контроллером FTL** (Flash Translation Layer), транслирующим внешние обращения в свою собственную внутреннюю систему распределения данных, и использующим свою собственную внутреннюю файловую систему.
- При этом конструкция этой внутренней файловой системы SSD неизвестна, алгоритмы работы контроллеров не раскрываются. У каждого производителя свои закрытые алгоритмы.
- **Контроллер FTL ничего не знает ни про файловые разделы, размещенные в устройстве, ни про то, под какую файловую систему эти разделы отформатированы, ни, тем более, про файловые объекты.**
- **Контроллер только транслирует полученные извне адреса блоков, по каким-то своим алгоритмам отображая их на доступное ему пространство хранения.**
- Поэтому, с точки зрения обеспечения максимальной производительности, большой разницы в том, какую использовать внешнюю файловую систему для SSD просто нет.

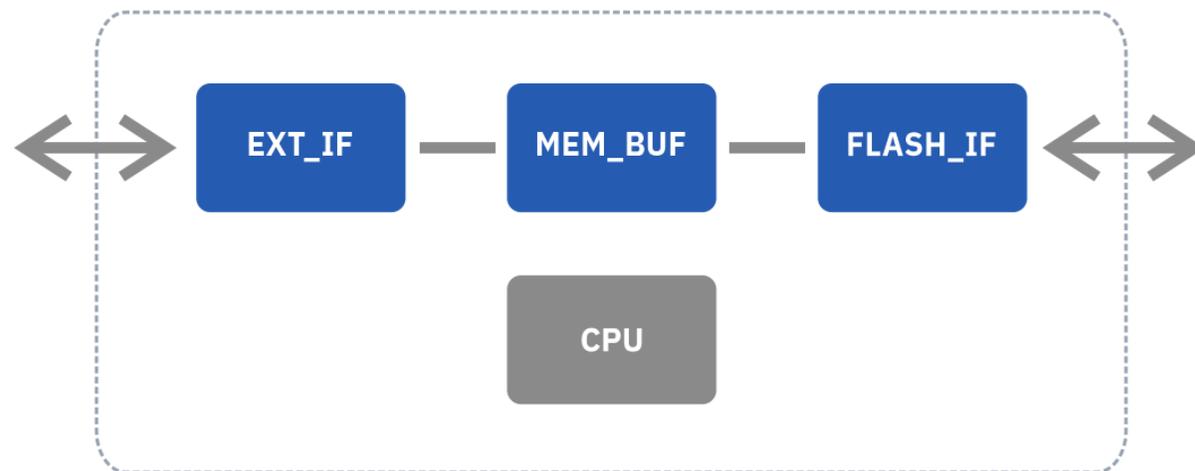
Контроллер

- Контроллер обеспечивает подключение к хосту, и, собственно, представляется накопителем.

- В общем виде архитектура любого контроллера любого накопителя выглядит типично: имеются аппаратные блоки интерфейсов для обмена данными с хостом (**EXT_IF**) и NAND-памятью (**FLASH_IF**).

- Между блоками интерфейсов в обязательном порядке присутствует буферная оперативная память (**MEM_BUF**), предназначенная для оперативного кэширования данных и сглаживания потока записи/чтения данных.

- В контроллерах USB-накопителей буферная память составляет десятки килобайт и размещается непосредственно в самом контроллере. В высокопроизводительных системах, таких как SSD-накопители, используются внешние микросхемы памяти.



Контроллер

- Данные между интерфейсными блоками и буферной памятью передаются без непосредственного участия процессора по каналам прямого доступа к памяти (**DMA**, direct memory access). Участие процессора в передаче данных заключается в настройке каналов DMA и синхронизации работы блоков.
- **Любой из подключаемых SSD накопителей является «блочным устройством».**
- **Блочное устройство** – это устройство, в котором данные хранятся в виде последовательной цепочки логических блоков, обращение к которым возможно по адресу **Logical Block Address (LBA)**. Большинство устройств поддерживает размер блока в 512 байт, который называется «сектор». **Сектор** является минимальной дискретной информацией, которая может быть перезаписана на блочном устройстве. То есть для замены одного байта хост должен передать целиком сектор на устройство хранения.

Контроллер

- Для программистов, работающих с накопителями на физическом уровне (запись/чтение по физическим адресам), вполне очевидно, что запись и чтение одного сектора не должны затрагивать никоим образом данные других секторов.
- Также это очевидно для пользователя блочного устройства, но NAND флэш-память, как было сказано ранее, не предоставляет такой возможности.
- **Для того, чтобы заменить один сектор в массиве памяти NAND, необходимо перезаписать весь блок NAND флэш-памяти, размер которого составляет мегабайты.**
- **Такой метод решения задачи крайне неэффективен**, так как приводит к недопустимому снижению скорости записи в NAND флэш-память относительно ее потенциальных возможностей.
- К тому же так как операционная система часто пишет в одни и те же адреса устройства (например, записи FAT), то блоки NAND флэш-памяти быстро придут в негодность из-за ограниченного ресурса на стирание.

Контроллер

- Чтобы увеличить скорость записи/чтения данных и продлить срок службы NAND флэш-памяти, применяются более хитрые методы адресации, переводящие логические адреса (LBA) накопителя в физические адреса NAND флэш-памяти.
- Алгоритм трансляции адресов NAND флэш-памяти в зарубежной литературе называется **Flash Translation Layer (FTL)**.
- Если посмотреть описание контроллеров SSD (например, компании Marvell), то можно увидеть, что в состав контроллера входит до 4 процессорных ядер.
- Такая высокопроизводительная система в SSD необходима в первую очередь для расчета адресов трансляции.

Flash Translation Layer (FLT), или слой трансляции флэш-памяти

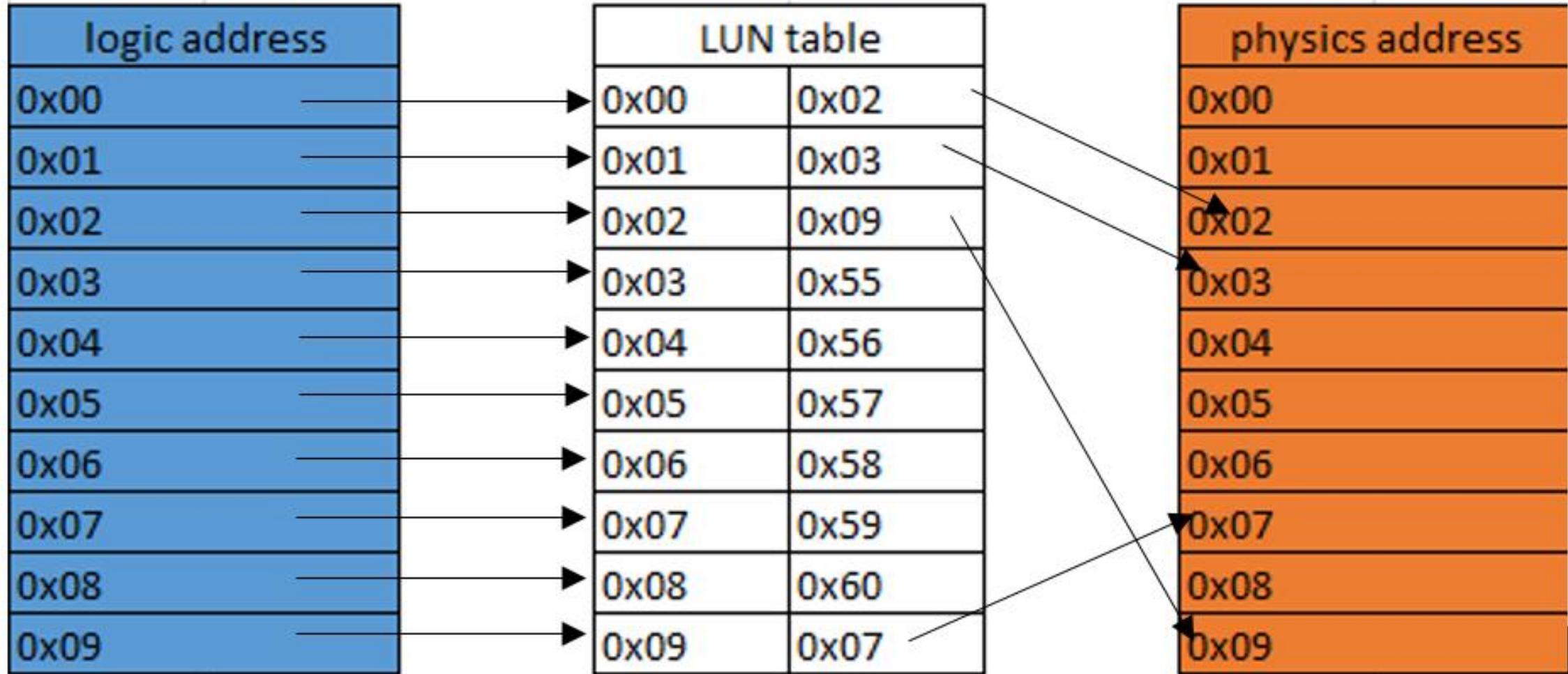
- **Flash Translation Layer (FLT), или слой трансляции флэш-памяти** - это программный компонент, скрывающий от операционной системы и приложений физические особенности флэш-памяти и обеспечивающий абстракцию для работы с ней как с обычным блочным устройством хранения данных.
- Вместо того, чтобы напрямую взаимодействовать со сложной структурой флэш-памяти (с её блоками, страницами, износом и т.д.), операционная система работает с логическими адресами, которые FTL преобразует в физические адреса во флэш-памяти.

Flash Translation Layer (FLT)

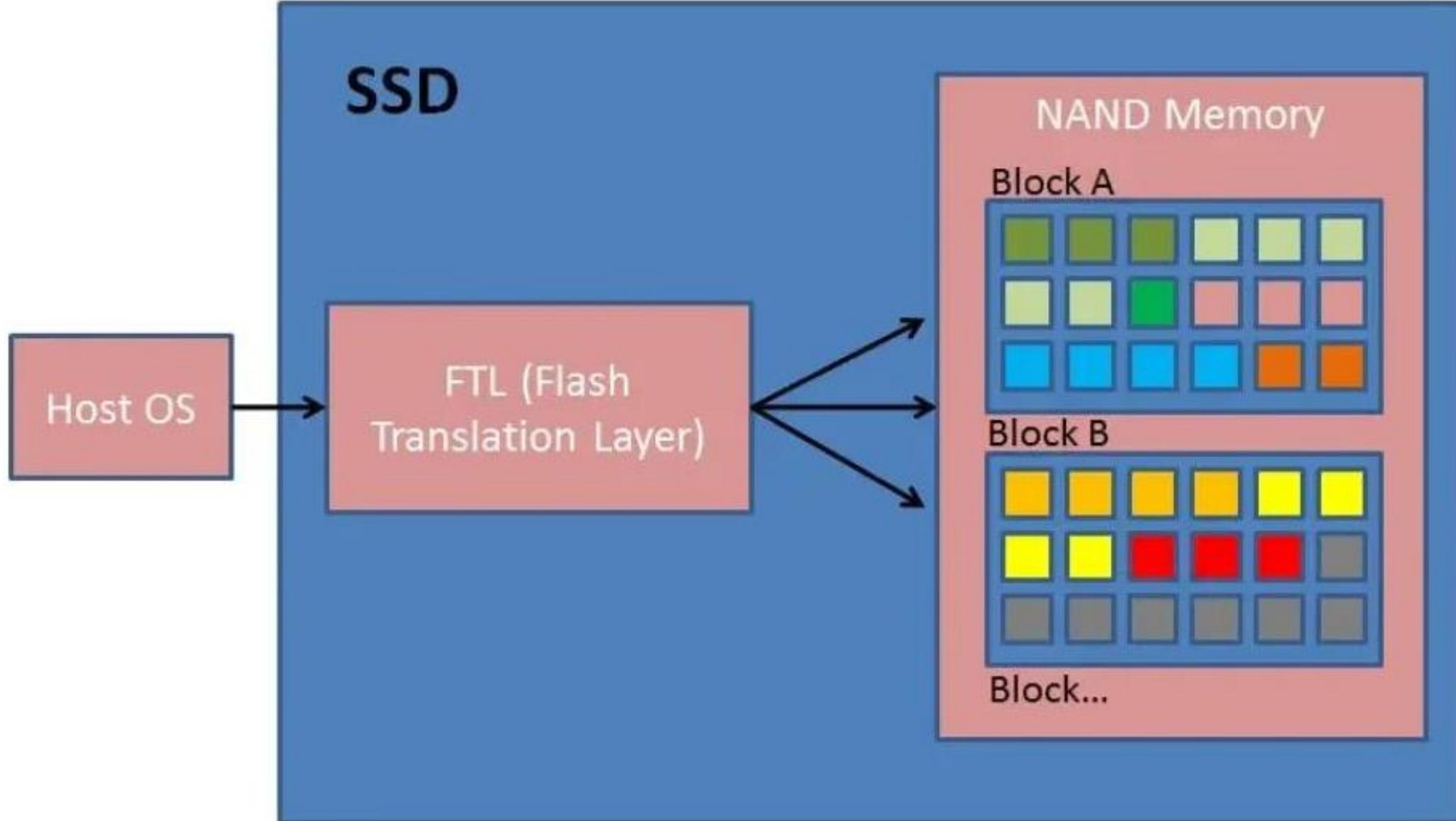
- **Не существует единого универсального алгоритма FTL, удовлетворяющего все запросы пользователя, в которые входят:**
 - скорость записи/чтения данных по последовательным адресам
 - скорость записи/чтения данных по случайным адресам
 - срок службы накопителя
 - надежность хранения данных
 - объем и тип применяемой памяти
- **Алгоритмы FTL могут отличаться как для разных типов накопителей (SD/USB Flash/SSD), так и для одного типа.**
 - Например, существует разделение SSD по назначению: для серверов, для кэширования в персональном компьютере (ПК), для ноутбуков, для настольных ПК. При этом для каждого применения существуют свои приоритеты в требованиях и свои варианты реализации FTL.
 - Каждый вариант FTL представляет собой компромисс параметров с учетом приоритетов конкретного применения накопителя.

FTL, логическая и физическая адресация

- **Суть FTL** – преобразование логических адресов устройства в физические адреса NAND флеш-памяти.



FTL, логическая и физическая адресация



FTL, логическая и физическая адресация

- Каждому логическому LBA ставится область памяти в NAND. Это называется Logical Unit Number Table (LUN table).
- Для перезаписи логического блока стираются данные свободного физического блока, после чего происходит замена в LUN table, что создает для пользователя видимость перезаписи.
- От того, какого размера выбираются логические блоки, зависит размер LUN table (не во всех устройствах целесообразно иметь большие объемы памяти).

FTL, логическая и физическая адресация

- В FTL применяются в основном применяют следующие варианты схем адресации:
 - **Страничная адресация (Page mapping):**
Каждая логическая страница отображается на физическую страницу.
 - **Блочная адресация (Block mapping):**
Логические блоки отображаются на физические блоки.
 - **Гибридная адресация (Hybrid mapping):**
Комбинация page-level и block-level mapping.
- Также могут применяться и другие схемы адресации, например: сегментная адресация (Segment Addressing) в которой блоки группируются в сегменты. Выбор схемы адресации зависит от конкретных требований системы и характера нагрузки.
- **Для современных SSD чаще всего используется гибридный подход,** который позволяет достичь оптимального баланса между производительностью и долговечностью памяти.

FTL. Page Mapping. Страничная адресация

- **Это один из самых простых и популярных подходов.** Он включает в себя полное отображение каждого логического блока данных на физическую страницу в NAND-памяти.
- **В страничной адресации в LUN table сохраняются адреса физических страниц.** Размер логического блока при этом составляет порядка десятков килобайт.
- **Преимуществом страничной адресации является высокая скорость перезаписи данных,** как последовательно, так и в случайном порядке.
- **Недостатком является большой размер LUN table.** Поэтому в состав большинства SSD входит микросхема оперативной памяти, объемом более 100 Мбайт.
- Например, в компактных накопителях (USB-флеш-накопитель, карта памяти SD) основная часть объема адресуется блочным методом, в то время, как часть объема, к которой часто производится обращение, адресуется постранично.

FTL. Block Mapping. Блочная адресация

- В блочной адресации размер логического блока соответствует размеру физического блока. В свою очередь в массиве LUN table с индексом, равным адресу логического блока, указывается значение, соответствующее адресу физического блока. **Для изменения части блока необходимо переписать весь блок целиком.**
- Преимуществом блочной адресации является **малый размер LUN table**, что актуально для устройств с малым объемом оперативной памяти, таких как USB-флеш-накопитель или карта памяти microSD.
- Недостатком является то, что **размер блока довольно большой** (порядка мегабайтов), и для перезаписи малых объемов данных (например, 512 байт) приходится переписывать весь блок.

FLT. Hybrid Mapping. Гибридная адресация

- Этот подход сочетает в себе элементы и block mapping, и page mapping. **Данные часто записываются на страницы, но для ускорения операций чтения и записи используется блоковое отображение.** Система может динамически переключаться между этими методами в зависимости от типа операций.
- **Преимущества:**
 - Баланс между производительностью и эффективностью использования памяти
 - Гибкость в управлении данными
- **Недостатки:**
 - Более сложная реализация
 - Возможные проблемы с управлением динамическим изменением подходов

FLT. Схемы адресации

Страничная адресация (Page Mapping)

- Логическая страница 1 -> Физическая страница А
- Логическая страница 2 -> Физическая страница В
- Логическая страница 3 -> Физическая страница С

Страничная адресация (Page Mapping)

- Логический блок 1 (16 страниц) -> Физический блок А
- Логический блок 2 (16 страниц) -> Физический блок В
- Логический блок 3 (16 страниц) -> Физический блок С

Гибридная адресация (Hybrid Mapping)

- Hot data: Страничная адресация
- Cold data: Блочная адресация
- Metadata: Отдельная область

Чтение данных с SSD

- Упрощенно процесс чтения данных на твердотельном накопителе (SSD) происходит следующим образом:
- **1. Поиск адреса:** Когда система запрашивает чтение данных, контроллер SSD получает логический адрес блока (LBA), где хранятся запрошенные данные.
- **2. Определение физического адреса:** Контроллер SSD преобразует логический адрес в физический адрес блока (PBA) в флэш-памяти. Это необходимо, так как SSD использует внутреннее сопоставление LBA-to-PBA для оптимизации производительности и долговечности.
- **3. Чтение данных:** Контроллер SSD считывает данные из указанного физического блока. Это происходит быстро, так как SSD не имеют движущихся частей, и доступ к данным осуществляется электронно.
- **4. Передача данных:** Считанные данные передаются обратно в систему, где они обрабатываются или используются для выполнения запрошенной операции.

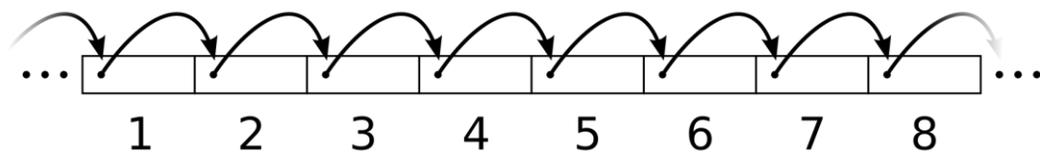
Чтение данных с SSD (FLT)

- На уровне FLT (Flash Translation Layer) в SSD выполняет процедуру чтения данных через следующие ключевые этапы:
 - 1. Абстракция логических и физических адресов:** FLT создает отображение между логическими адресами, используемыми операционной системой, и физическими адресами ячеек памяти в NAND-флеш. Это позволяет системе работать с логическими блоками, не заботясь о физическом расположении данных.
 - 2. Перевод логического адреса в физический:** Когда поступает запрос на чтение данных, FLT использует таблицу отображения (L2P — Logical to Physical) для нахождения физического адреса, где хранятся запрашиваемые данные.
 - 3. Чтение данных из NAND-памяти:** После определения физического адреса FLT инициирует процесс чтения данных из соответствующих ячеек NAND-флеш. Это включает передачу команд контроллеру SSD для извлечения данных.
 - 4. Коррекция ошибок:** В процессе чтения FLT может применять алгоритмы коррекции ошибок (ECC — Error Correction Code) для исправления возможных искажений данных, вызванных износом ячеек памяти или другими факторами.
 - 5. Кэширование:** FLT может использовать кэш для ускорения доступа к часто запрашиваемым данным. Если данные находятся в кэше, они возвращаются без необходимости чтения из NAND-памяти.
 - 6. Возврат данных приложению:** После успешного чтения и, при необходимости, коррекции ошибок данные передаются обратно в запрашивающее приложение.
- Таким образом, FLT обеспечивает эффективное управление процессом чтения данных, минимизируя задержки и обеспечивая целостность информации.

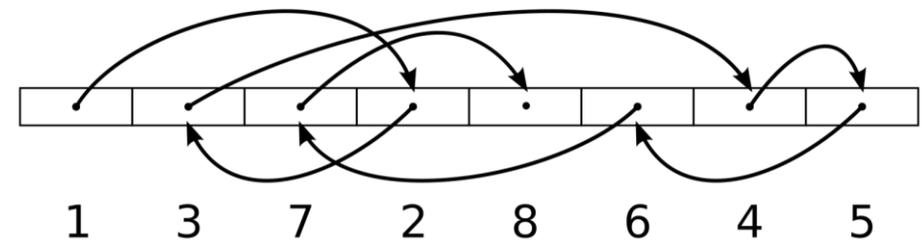
Скорость чтения / записи данных

- Скоростные показатели SSD, как и любого другого накопителя, можно разбить на две большие группы, которые важны для разных сценариев использования.
 - **Последовательное чтение:** измеряет скорость чтения больших объемов данных последовательно, мегабайты в секунду (МБ/с).
 - **Случайное чтение:** измеряет скорость доступа к небольшим блокам данных, часто выражается в IOPS (операциях ввода-вывода в секунду, Input/Output Operations Per Second). IOPS важен при работе с множеством небольших файлов или частыми запросами к диску

Последовательный доступ



Произвольный доступ



Flash Translation Layer (FLT)

- Кроме логической и физической адресации FLT выполняет множество важных функций, например:
 - **Управление износом (выравнивание износа) - Wear leveling** : Равномерно распределяет операции записи по всем блокам флэш-памяти, чтобы продлить срок службы SSD.
 - **Сбор мусора - Garbage collection**: Удаляет устаревшие данные и освобождает пространство для новых данных.
 - **Управление неисправными блоками - Bad block management**: Обходит или заменяет неисправные блоки флэш-памяти.
 - **Оптимизация производительности**: FTL может применять различные стратегии для оптимизации производительности SSD, такие как кэширование данных, предварительная выборка данных и другие методы, которые зависят от конкретной реализации.
- **Без FTL работа с SSD была бы значительно сложнее и менее эффективна.** FTL абстрагирует сложность флэш-памяти, обеспечивая простой и эффективный интерфейс для операционной системы и приложений. Это позволяет использовать SSD как обычный жесткий диск, не задумываясь о низкоуровневых деталях работы флэш-памяти.

Flash Translation Layer (FLT)

- **FTL (Flash Translation Layer) в SSD имеет механизмы защиты от внезапных отключений питания**, для предотвращения потери данных и повреждение файловой системы. К таким механизмам относятся:
 - **Журналирование (Journaling):** FTL может использовать журналирование для записи метаданных (например, таблиц отображения) перед их фактическим применением. В случае сбоя питания, FTL может восстановить свое состояние, просмотрев журнал и повторно применив незавершенные операции.
 - **Кэширование с защитой от потери данных (Power Loss Protection):** Некоторые SSD используют кэш DRAM для повышения производительности. Чтобы защитить данные в кэше при отключении питания, могут использоваться конденсаторы или батареи, которые обеспечивают достаточно энергии для записи данных из кэша в флэш-память.
 - **Атомарные операции записи (Atomic Writes):** FTL может гарантировать, что определенные критические операции записи (например, обновление таблиц отображения) выполняются атомарно. Это означает, что операция либо завершается полностью, либо не выполняется вообще, что предотвращает повреждение данных в случае сбоя питания.
 - **Резервные копии метаданных (Metadata Backups):** FTL может хранить резервные копии важных метаданных (например, таблиц отображения) в разных местах флэш-памяти. В случае повреждения основной копии из-за сбоя питания, FTL может восстановить данные из резервной копии.
 - **Использование энергонезависимой памяти (Non-Volatile Memory):** FTL может хранить критически важные метаданные в энергонезависимой памяти, такой как EEPROM или специальная флэш-память, которая не теряет данные при отключении питания.
 - **Механизмы согласованности данных (Data Consistency Mechanisms):** FTL может использовать контрольные суммы или другие механизмы для проверки целостности данных после восстановления после сбоя питания. Если данные повреждены, FTL может попытаться восстановить их из резервных копий или других источников.
- Современные SSD в основном используют комбинацию этих методов для обеспечения надежной защиты от потери данных при внезапных отключениях питания. Конкретные реализации могут различаться в зависимости от производителя и модели SSD.

Ресурс перезаписи ячеек

- В отличие от жестких дисков, у SSD есть конечный ресурс перезаписи — то есть на ячейки памяти можно записать и стереть информацию конечное число раз.
- В зависимости от типа памяти, носителям доступно 1—3 тысячи циклов.
- То есть SSD на 2 Тб откажет где-то спустя 2—6 петабайт записанных данных. (Петабайт — это 1024 терабайта)
- Скорее всего, гораздо раньше в негодность придет контроллер.
- Особенно если диск бюджетный или от неизвестного производителя.
- Несмотря на естественные недочеты формата SSD, производители постоянно придумывают способы продлить им жизнь.

Ресурс перезаписи ячеек

- **Варианты продления ресурса SSD:**
- **Резервная область накопителя, или spare area.** Неразмеченная, то есть незаметная компьютеру область диска, составляет около 7% от его емкости. Выделяется на запись и чтение при заполнении SSD — иначе на 80—90% емкости он начнет работать хуже. Помимо этого, память из резервной области используется накопителем для замены собственных NAND-ячеек, истративших ресурс.
- **TRIM.** Функция, которая позволяет тщательнее избавляться от удаленных файлов, полностью очищая ячейки и продлевая срок жизни SSD. Функция доступна на большинстве M.2 SSD и почти не увеличивает их цену.
- **Прошивка и «умная» начинка.** Программное обеспечение в современных дисках в состоянии самостоятельно регулировать их работу, держать ячейки в тонусе и следить за тем, чтобы они проработали как можно дольше. Собственную прошивку для дисков выпускают все производители, но особенно внимательно к ПО относятся Samsung, Intel, Sandisk, Corsair, Kingston, Crucial и Western Digital.

Резервирование свободного места на SSD

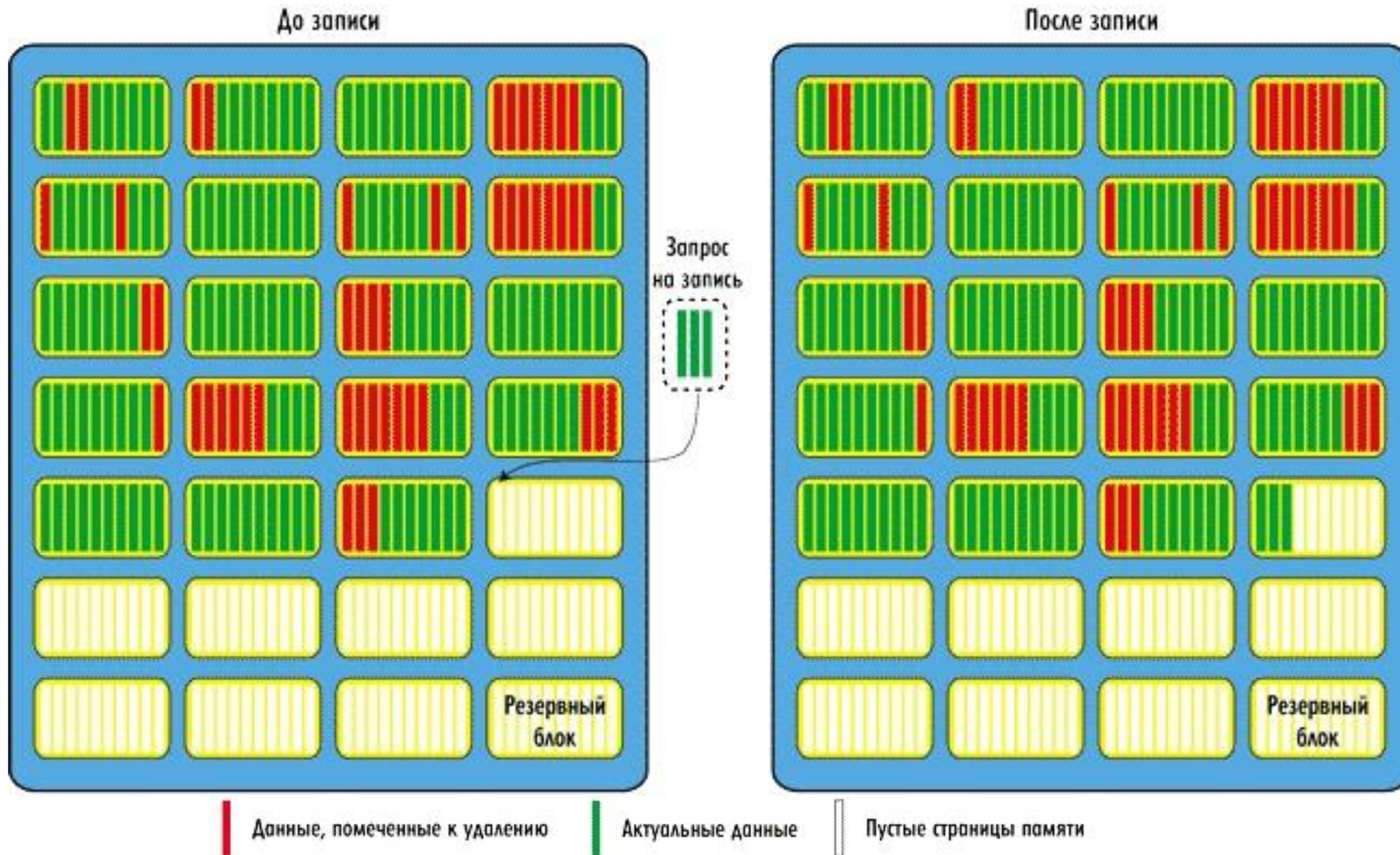
- Контроллер FTL устройства самостоятельно выравнивает нагрузку по записи на память, используя имеющееся свободное пространство для размещения данных.
- Поэтому **для сохранения постоянной скорости записи на SSD, их не рекомендуется заполнять больше чем на 75%.** Кроме того, в устройстве резервируется область, из которой FTL будет брать блоки для замены повреждённых блоков.
- Теоретически, в современных SSD необходимые области зарезервированы аппаратно, и, например, заявленная ёмкость устройства 120ГБ вместо 128ГБ может означать, что 8ГБ находятся в резерве.

TRIM

- **TRIM** — команда внешнего ATA-интерфейса, позволяющая операционной системе сообщить контроллеру SSD, что некие блоки данных уже не заняты файловыми объектами и могут быть использованы повторно.
- Утверждается, что **при выполнении команды TRIM освобождающиеся блоки стираются** (перезаписываются единицами, что является первым шагом в последовательности операций перезаписи блока памяти SSD), при этом злоупотребление командой TRIM повышает количество перезаписей ячеек памяти SSD, что ведёт к снижению его ресурса. Однако гарантировать, что все контроллеры FTL всегда будут работать именно так, вряд ли возможно.
- Применение Trim позволяет SSD уменьшить влияние сборки мусора, которая в противном случае в дальнейшем выразится падением производительности операций записи в затронутые секторы.

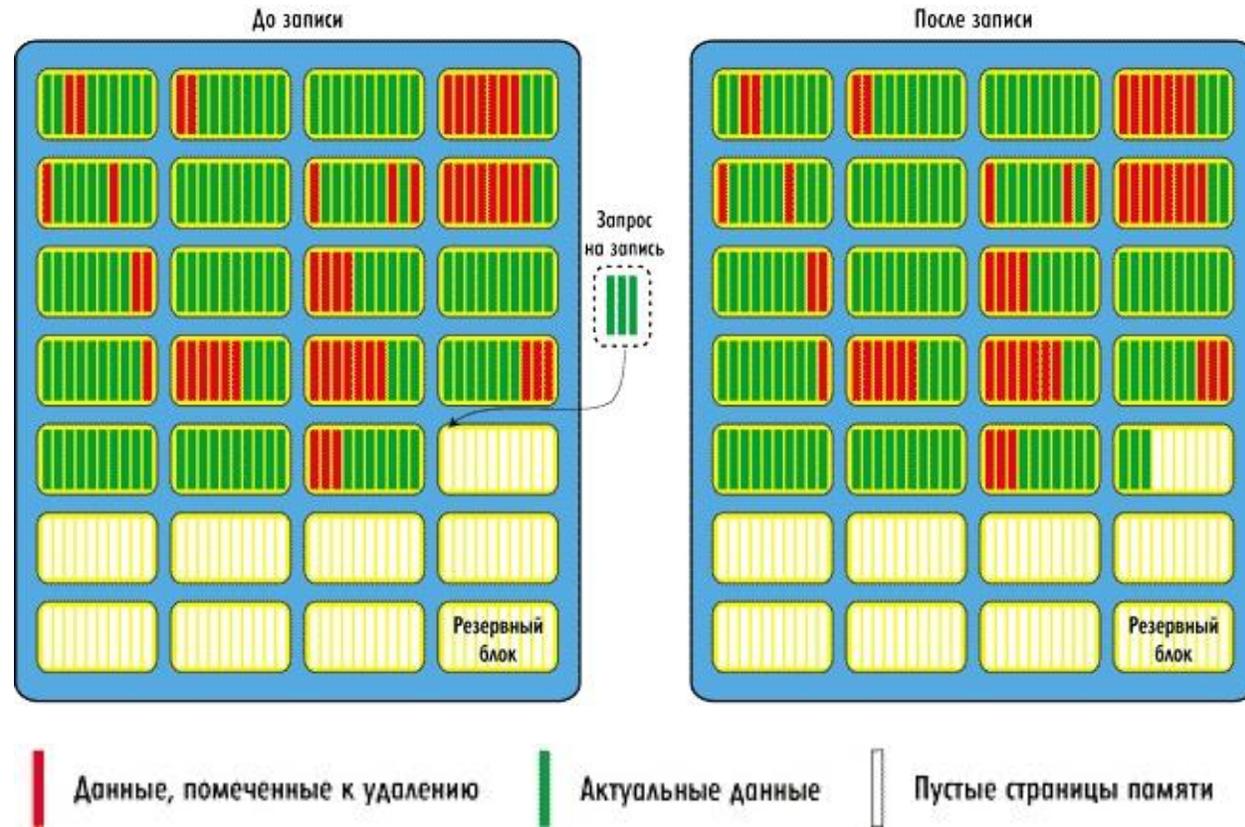
Запись на новый (частично заполненный) диск

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»



Запись на новый (частично заполненный) диск

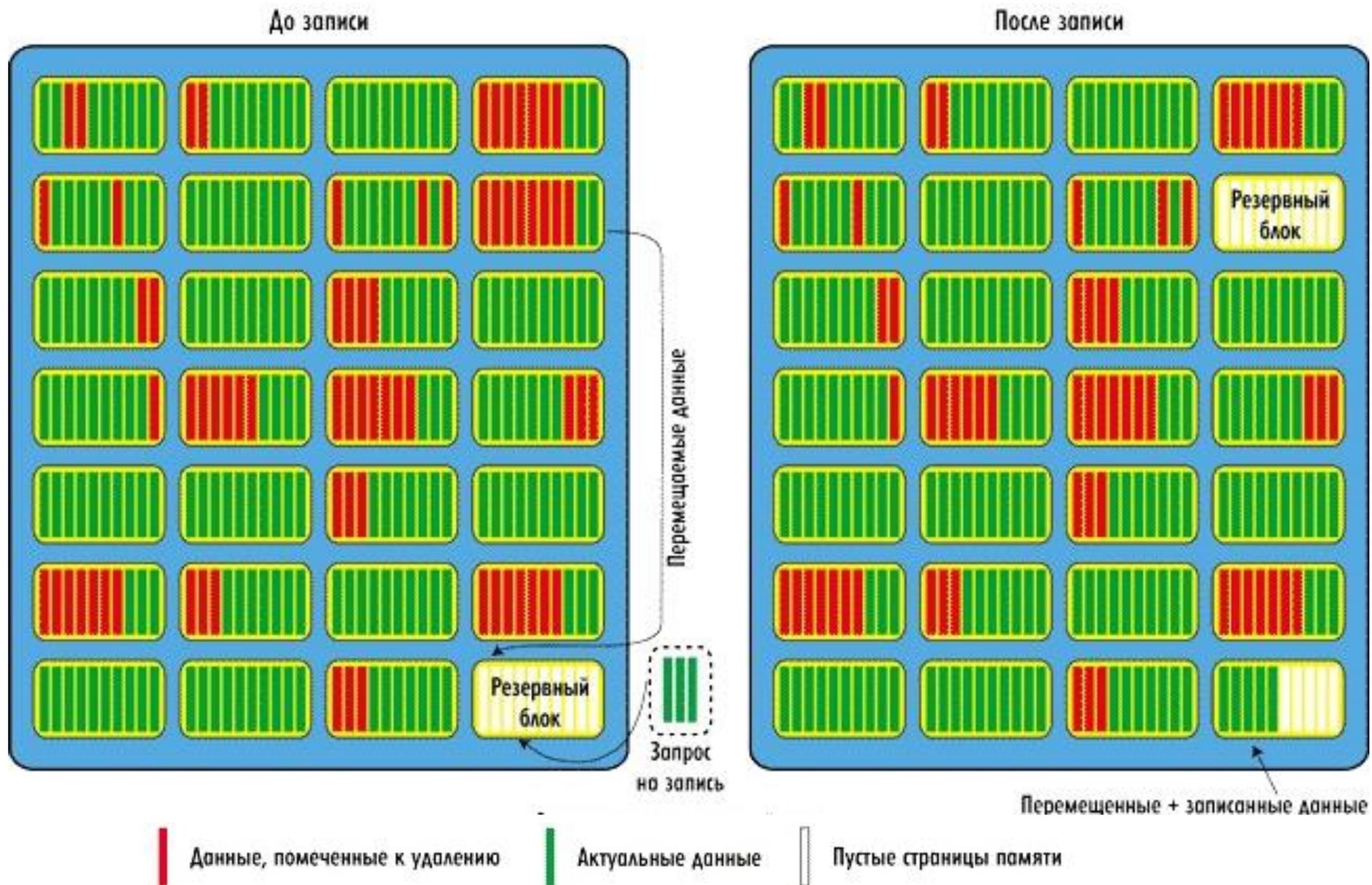
- Данные записываются последовательно в физические блоки порциями по 4 Кбайт.
- При этом логический адрес записываемой страницы сопоставляется с физическим адресом,
- Для соответствия между логическими и физическими адресами (LBA-PBA mapping) предназначена специальная таблица, которая размещается в оперативной памяти SSD.



• **Перезапись данных**

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

Запись на заполненный диск



Запись на заполненный диск

- При заполнении диска блоки памяти могут содержать как страницы, помеченные на удаление (страницы с устаревшими данными), так и страницы с актуальными данными, которые удалять нельзя.
- Контроллер диска анализирует объем записываемой информации и находит блок, содержащий максимальное количество страниц, помеченных к удалению, достаточных для размещения вновь записываемых страниц.
- Страницы с актуальными данными из выбранного блока переносятся в пустой или резервный блок, куда дозаписываются вновь поступившие данные.
- После этого информация в «старом блоке стирается» и он становится резервным, доступным для записи. Процедуру поиска подходящего блока с максимальным количеством неиспользуемых страниц называют сбором мусора» (Garbage Collection).

Запись на заполненный диск

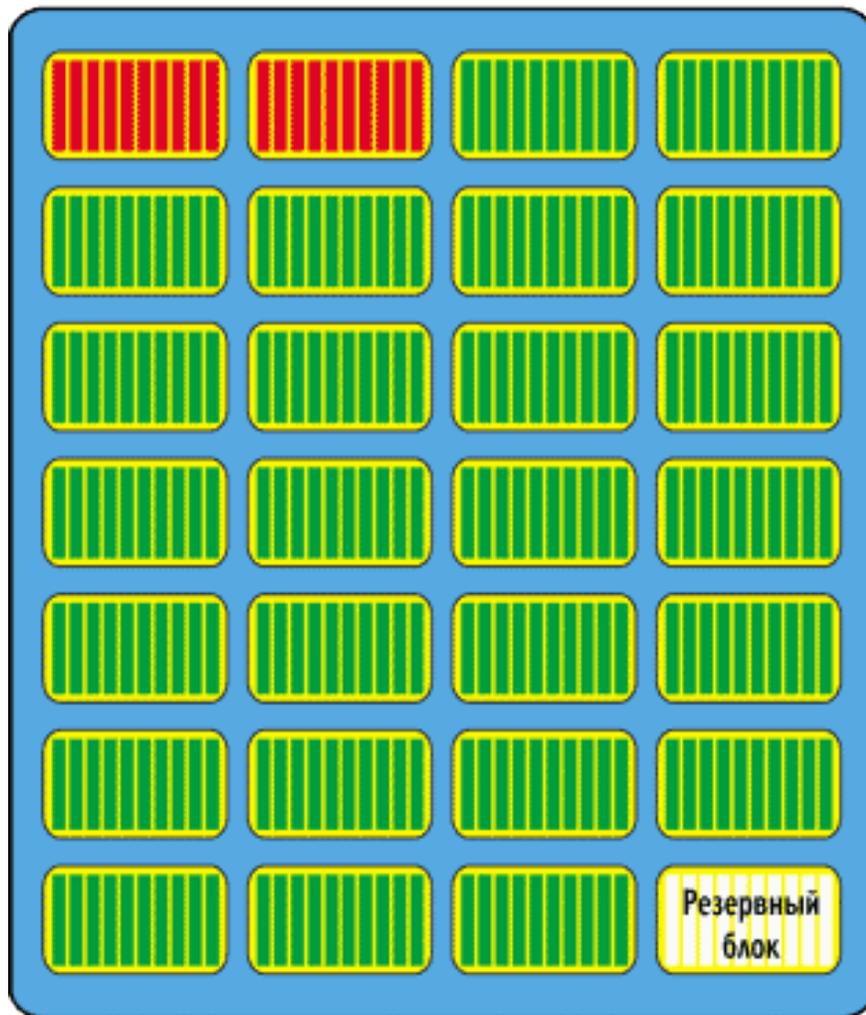
- Казалось бы, почему нельзя записывать новые данные в те страницы флэш-памяти, которые содержат устаревшие данные и помечены на удаление? Всё дело в том, что в архитектуре флэш-памяти **для того, чтобы произвести запись данных в занятую страницу памяти, ее нужно предварительно очистить**. Однако, как мы помним, если запись и чтение во флэш-памяти осуществляются страницами, то удаление возможно только блоками. И если нам нужно очистить какую-то страницу памяти, то придется стереть весь блок, в котором находится эта страница. Однако данный блок может содержать и страницы, помеченные на удаление (страницы с устаревшими данными), и страницы с актуальными данными, которые удалять нельзя.
- **Для того чтобы использовать блоки со страницами, помеченными на удаление, применяется метод переноса данных с помощью пустых и резервных блоков**. Даже если пустых блоков в SSD-диске уже не осталось, всегда имеется определенное количество резервных блоков, применяемых для переноса данных. Чтобы удалить страницу с устаревшими данными, прежде нужно переместить из соответствующего блока страницы с актуальными данными в резервный свободный блок и уже потом удалить весь блок, содержащий страницы с устаревшими данными. Соответственно мы получаем частично занятый блок с перемещенными данными, доступный для записи, и пустой блок, который становится резервным. Однако в результате такого перемещения данных получается, что на SSD-диск приходится записывать больше данных, чем требуется. К примеру, если требуется записать всего одну страницу (4 Кбайт) и для этого нет свободного блока, то прежде нужно найти блок со страницами, помеченными на удаление. Если имеется блок, в котором помечена на удаление всего одна страница, то нужно переместить из этого блока в резервный блок остальные 127 страниц и дополнить его той одной страницей, которую нужно было записать. Затем блок со страницей, помеченной на удаление, стирается и становится резервным. Получается, что для записи всего одной страницы (4 Кбайт) приходится записывать 128 страниц (512 Кбайт), и это не считая того, что время тратится еще на чтение всего блока и его стирание. Именно поэтому скорость записи на новый диск (на который данные никогда не записывались) и на уже заполненный диск может кардинально различаться. Для того чтобы подчеркнуть принципиальную разницу в скорости записи на пустой и заполненный диски, используется такой показатель, как **коэффициент усиления записи (Write Amplification)**, который показывает, во сколько раз больше данных приходится записывать, чем реально требуется. При записи на пустой диск коэффициент усиления записи равен единице, а при записи на заполненный диск он всегда больше единицы — его значение может колебаться от 2 до 25.
- Рассмотренный пример является несколько идеализированным — в реальности механизм перемещения данных, то есть избавления от блоков со страницами, помеченными к удалению, используется по мере заполнения диска, причем с помощью как пустых, так и резервных блоков. Эту процедуру называют **сбором «мусора» (Garbage Collection)**.

Запись на заполненный диск

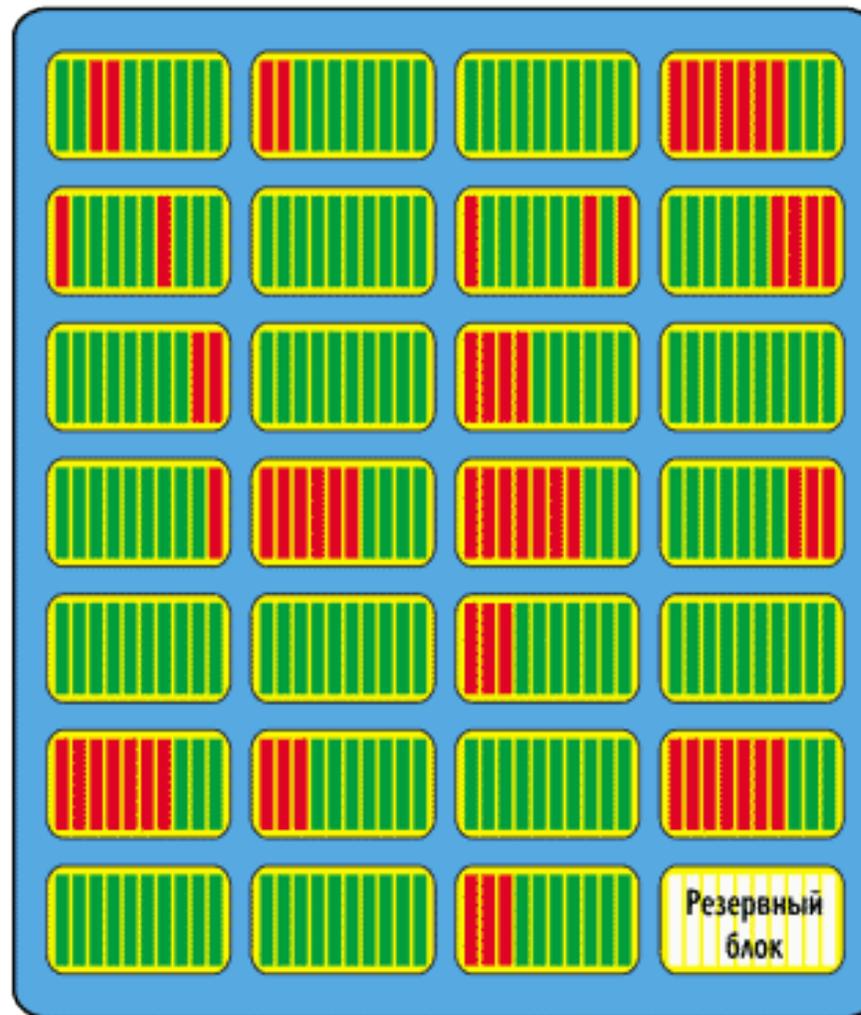
- Существуют различные алгоритмы процедуры **Garbage Collection**, и разница между ними заключается в том, каким именно образом выбирается блок, используемый для перемещения данных. Понятно, что это должен быть блок, содержащий как можно больше страниц памяти, помеченных к удалению. Именно в этом случае можно минимизировать количество операций записи и, тем самым, уменьшить показатель **Write Amplification**. Кроме того, учитывая, что количество циклов перезаписи ячеек флэш-памяти ограничено, процедура **Garbage Collection** с выбором блока с наибольшим количеством страниц, помеченных к удалению, позволяет продлить время жизни SSD-диска.
- Казалось бы — что мешает просто выбирать блок с максимальным количеством страниц, помеченных к удалению. Но для этого нужно просмотреть всю таблицу соответствия LBA-PBA, однако это очень трудоемкая операция для контроллера, которая требует достаточно много процессорных циклов. Такой способ выбора блоков на удаление не оптимален и ведет к снижению производительности, поэтому используются алгоритмы окна, когда анализируются не все блоки, а лишь некоторая их часть (окно блоков) с наибольшей вероятностью содержащая блок с максимальным количеством страниц, помеченных к удалению.
- Теперь нужно выяснить, откуда берутся те самые резервные блоки, которые применяются для перемещения данных. Если имеется SSD-диск, емкость которого составляет 160 Гбайт, то реально для записи доступно 160 десятичных, а не двоичных гигабайт. То есть реально емкость диска, доступная для записи, составит 160 000 000 000 байт, а не 171 798 691 840 байт, как в двоичной интерпретации (в двоичной интерпретации 1 Кбайт = 1024 байт). Разница между емкостью диска в двоичной и десятичной интерпретации как раз и составляет резерв блоков для перемещения данных (резервная область). В случае SSD-диска размером 160 Гбайт резервная область равна 11 798 691 840 байт, или примерно 11 Гбайт в двоичной интерпретации. Важно отметить, что резервная область диска — это не какой-то выделенный участок блоков памяти. Резервные блоки как бы «размазаны» по всему диску, более того — их расположение динамически меняется во времени. Любой блок памяти может быть и резервным, и доступным для записи.
- Также отметим, что **если при записи в какой-то блок памяти выдается ошибка, то он помечается как Bad-блок и в дальнейшем не используется**. Причем объем доступного для записи места при этом не уменьшается, поскольку все Bad-блоки автоматически помечаются как резервные. То есть, если по мере эксплуатации SSD-диска в нем увеличивается количество Bad-блоков, это автоматически означает, что уменьшается размер резервной области диска. Естественно, это приводит к тому, что производительность диска в операциях записи начинает снижаться, поскольку от количества резервных блоков зависит скорость записи.

Разница между последовательной и случайной записью

Последовательная запись



Случайная запись

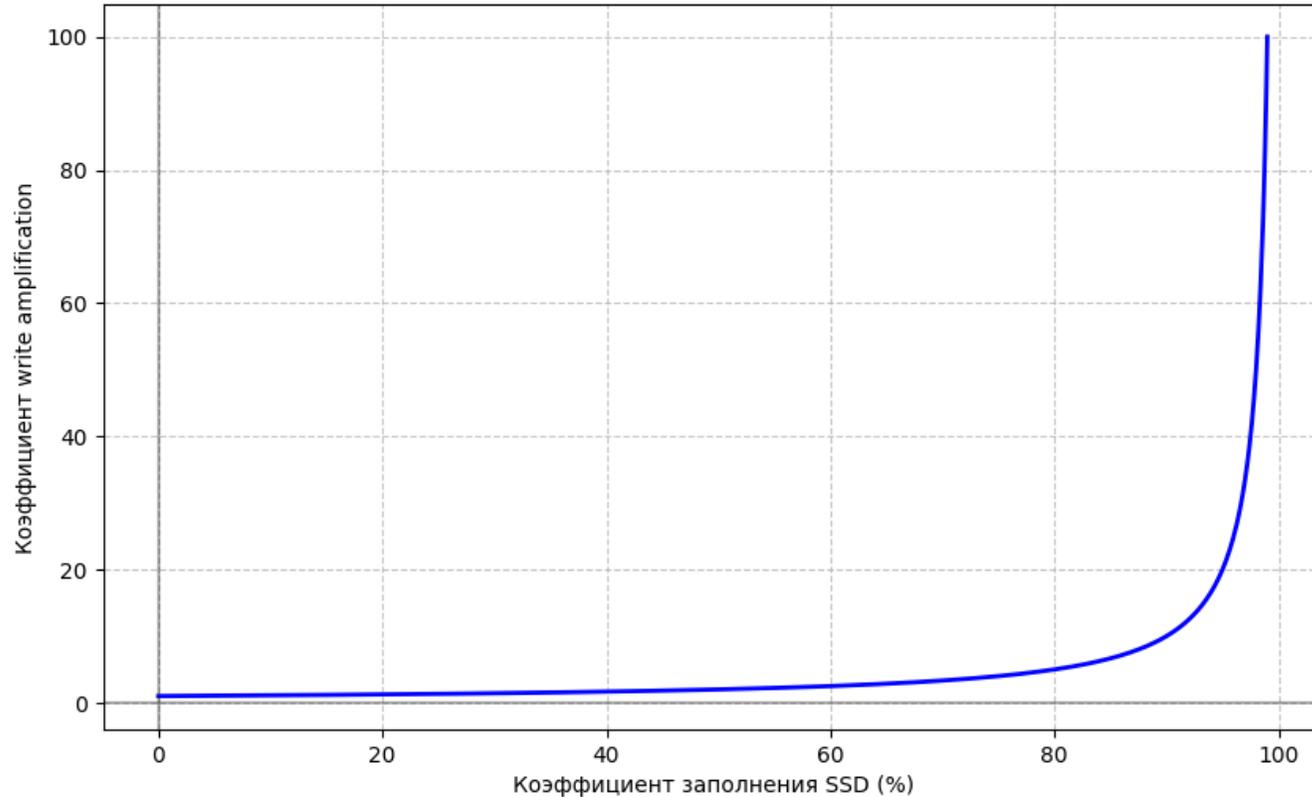


 Данные, помеченные к удалению  Актуальные данные  Пустые страницы памяти

Разница между последовательной и случайной записью

- Итак, мы рассмотрели первый феномен SSD-дисков, заключающийся в том, что **скорость записи на новый и ранее использовавшийся диски может заметно различаться**.
- Есть и другой феномен: разница в скорости последовательной и случайной записи. Казалось бы, если **данные записываются на SSD-диск преимущественно последовательным образом**, то можно вообще ли говорить о случайной записи? Однако не будем спешить с выводами. Представим себе последовательную (с точки зрения операционной системы) запись большого массива данных на пустой диск. То есть запись, при которой все логические LBA-адреса заполняются последовательно.
- В этом случае все физические блоки памяти будут заполняться последовательно, а если данные перезаписываются, то опять-таки будут образовываться блоки, целиком состоящие из страниц, помеченных к удалению. В этом случае не требуется использовать технологию перемещения данных, поскольку если блок состоит только из страниц, помеченных к удалению, то его можно стереть целиком, не перемещая из него никаких данных. Понятно, что в таком случае (то есть в случае последовательной записи) коэффициент усиления записи равен 1 и достигается максимальная скорость записи.
- В случае **случайной записи** даже на пустой диск, хотя данные и записываются преимущественно последовательным образом, пока не будет заполнено всё доступное пространство диска, неизбежно возникают операции перезаписи данных мелкими порциями, и в результате блоки данных содержат как страницы с нужными данными, так и страницы, помеченные к удалению. Это как раз та ситуация, которая была рассмотрена ранее, то есть по мере заполнения диска начинает использоваться механизм перемещения данных и коэффициент усиления записи становится больше единицы. Таким образом, за счет эффективного использования технологии перемещения данных скорость случайной записи всегда ниже скорости последовательной записи

Коэффициент усиления записи (Write Amplification)



$$WA = \frac{1}{1 - f}$$

где f — коэффициент заполнения диска, который варьируется от 0 (диск пустой) до 1 (диск полностью заполнен).

Коэффициент Write Amplification (WA) - это отношение количества физических записей на носителе к количеству логических записей, записанных пользователем или системой. Другими словами, **это показатель того, сколько реальных операций записи выполняет SSD внутри себя при каждой записи данных.**

На графике показана зависимость коэффициента Write Amplification от степени заполнения SSD.

Как видно из графика:

- **При низком уровне заполнения (менее 20%)** коэффициент write amplification близок к 1, что означает минимальную дополнительную нагрузку на носитель
- **По мере заполнения** SSD коэффициент растет нелинейно
- **При заполнении более 90%** коэффициент write amplification резко увеличивается, что приводит к существенному снижению производительности и сокращению ресурса SSD

Эта зависимость объясняет, почему рекомендуется поддерживать определенный запас свободного места на SSD для оптимальной производительности и долговечности.

Коэффициент усиления записи (Write Amplification)

- Контроллер SSD пишет во флэш-память намного больше данных, чем ему передает операционная система. Операции записи порождают процедуры перемещения данных read-modify-write для освобождения страниц под запись, сбором мусора, проверками целостности данных.

• **Write Amplification = Amount of Data Written to Flash / Amount of Data Written by Host**

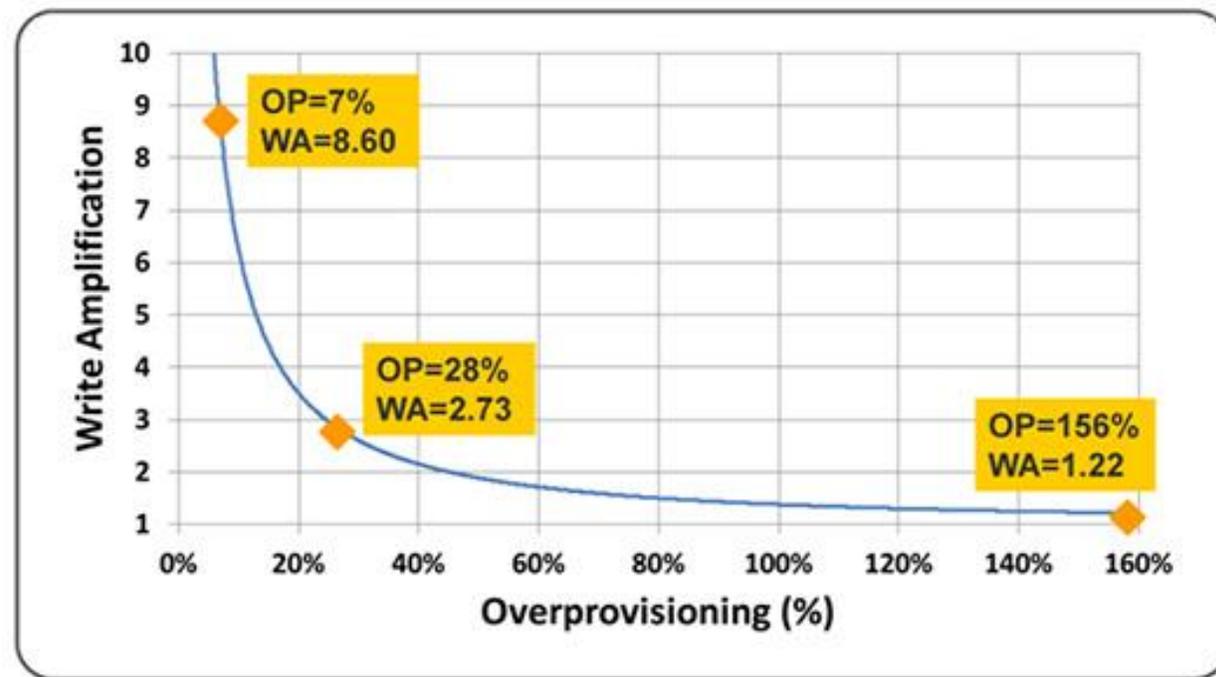
- **WA** — это в чистом виде накладные расходы (штрафы) на запись, прямой урон производительности. За большим значением WA для любого SSD прячется призрак смерти, ускоренного износа ячеек. Клиентские SSD в зоне особой опасности.

- Помогает сохранять высокий уровень производительности и живучести накопителя **Over Provisioning (OP)** — избыток ячеек, выделяемый производителем или пользователем при форматировании SSD.

• **Over Provisioning = (Physical capacity — User Capacity) / User Capacity**

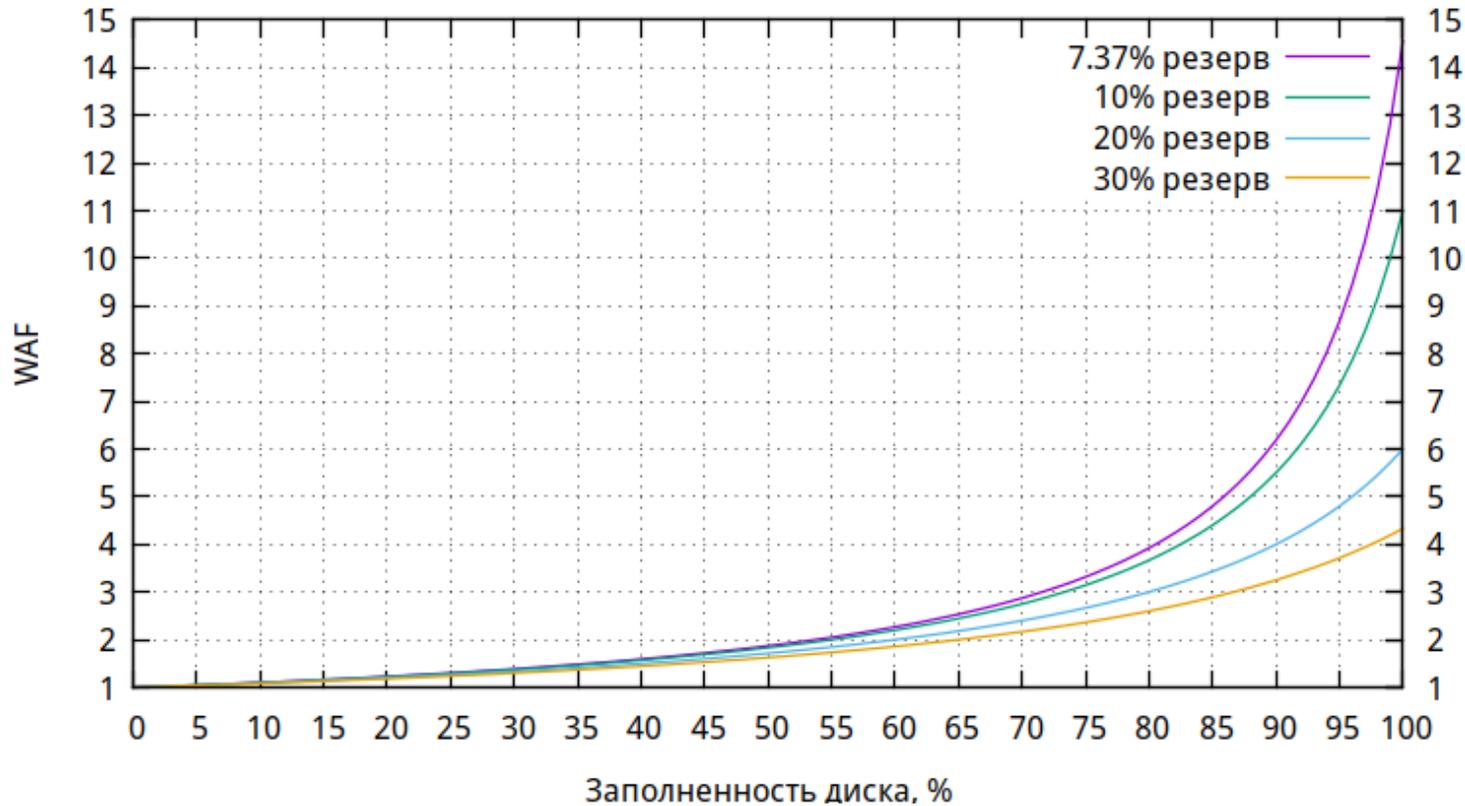
- **OP** — служебная область, недоступная ОС и приложениям. Этот резерв ячеек контроллер SSD использует для переноса данных при освобождении страниц под запись. По мере заполнения данными любого SSD, остается все меньше свободного места для перемещения данных. При забитом под завязку SSD и малом OP контроллеру нет пространства для маневра. В клиентских SSD OP не превышает 3-5%. В серверных SSD можно встретить и 30%.

- Картинка «Write Amplification vs Over Provisioning» дает хорошее представление о плохих прогнозах.



WAF (коэффициент мультипликации записи, Write Amplification Factor)

Зависимость WAF от степени заполненности диска и размера резервной области

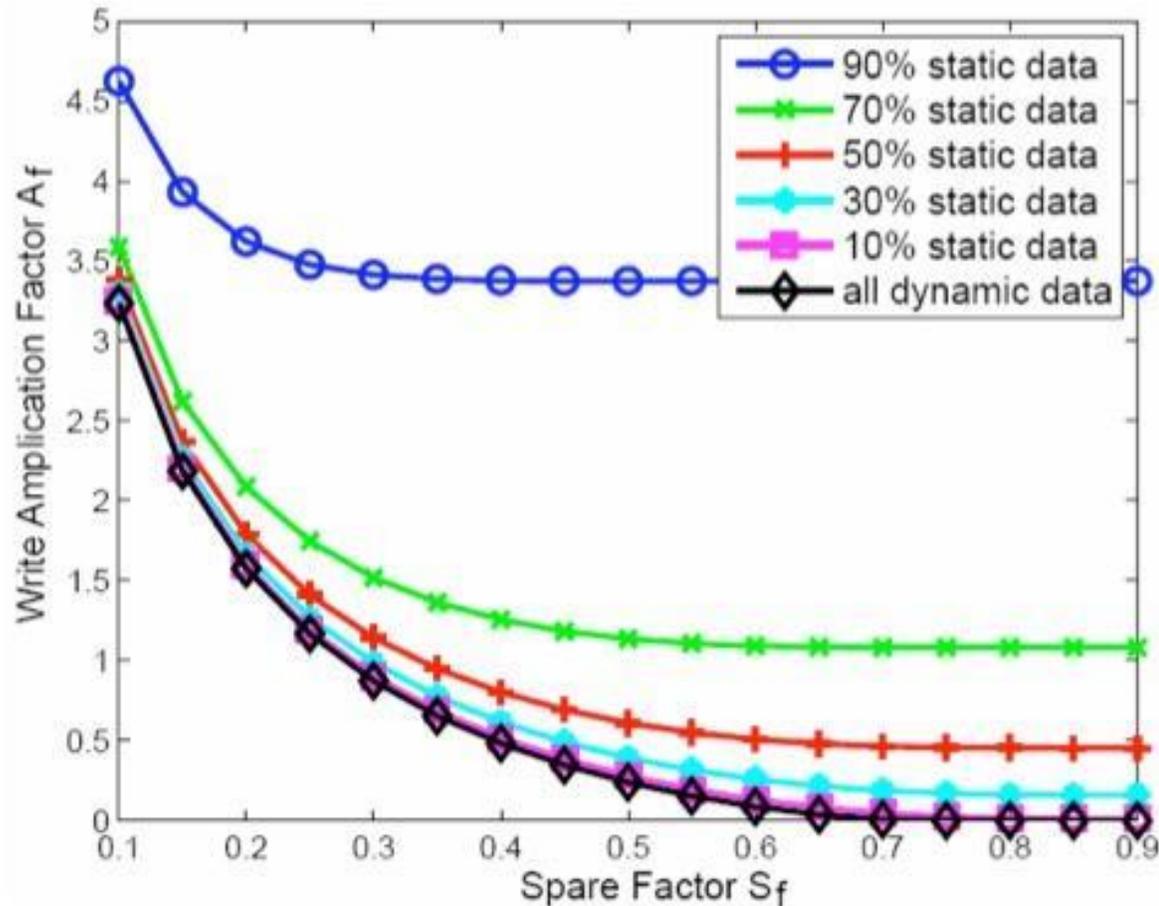


Конечно, нужно ещё учесть, что у большинства SSD есть резервная область, в которую также происходит перераспределение записи. Но, как правило, она невелика.

Типичный размер скрытой области для потребительских дисков составляет 7.37%, т.к. производители указывают размер в миллиардах байт, а микросхемы имеют ёмкость в гигабайтах.

$$WAF_{\text{сборки мусора}} = \frac{1}{1 - \frac{K_{\text{заполненность диска}}}{K_{\text{резервной области}}}}$$

WAF (коэффициент мультипликации записи, Write Amplification Factor)

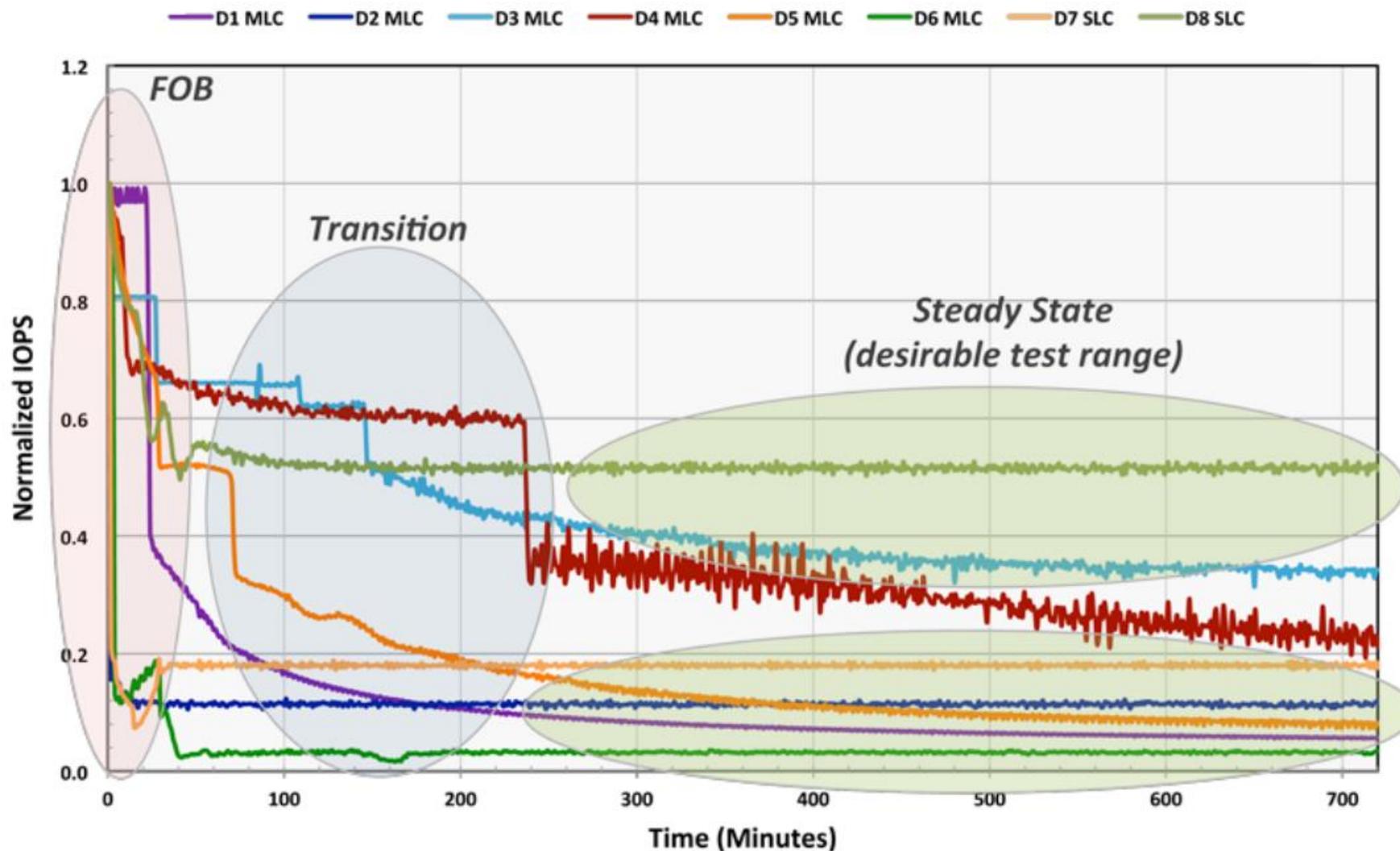


Mixed data placement

- Как видите, чем больше резервная область, тем меньше усиление записи.
- Из-за наличия такой зависимости между ними **производители рекомендуют не загружать твердотельный накопитель полностью, а оставлять минимум от 10 % до 20 % свободного места.**

Производительность 8 SSD на базе NAND памяти (запись RND 4KiB)

SSD Performance States - Normalized IOPS



Диск “из коробки” (FOB) не находился под нагрузкой, его ячейки пусты. Их заполнение не требует рекультивации (сбора мусора - переноса данных на чистые страницы памяти - стирания освободившихся страниц - перезаписи ячеек). Потому их показатели производительности необыкновенно высоки.

В переходном состоянии (Transition) производительность деградирует – по мере того, как нагрузка принуждает контроллер все чаще выполнять циклы read-modify-write. Устойчивое состояние (Steady State) наступает после продолжительной интенсивной перезаписи данных в ячейки SSD по всему объему.

Solid State Storage (SSS). Performance Test Specification (PTS). Version 2.0.2 (October 1, 2020)

<https://www.snia.org/sites/default/files/technical-work/pts/release/SNIA-SSS-PTS-2.0.2.pdf>

Резервные блоки

- Разница между двоичным и десятичным значением емкости дает резервные блоки
 - Так для диска емкостью 160 Гб емкость резервных блоков составит $171\,798\,691\,840 - 160\,000\,000\,000 = 11\,798\,691\,840$ байт, или примерно 11 Гбайт
 - Если запас резервных блоков исчерпан, то для временного хранения перемещаемых блоков может использоваться внутренняя динамическая кэш память контроллера.
- Для продления срока службы SSD необходимо постоянно иметь минимум (10 – 20)% свободного места.**

TRIM

- При удалении файлов операционная система лишь логически удаляет ненужные файлы. При этом физически они остаются на носителе. В SSD это приводит к накоплению «мусора», т.к. контроллеру не известно, что файл, был помечен операционной системой как удаленный.
- **TRIM** — это команда осуществляющая функцию передачи информации SSD о том, что файл был удален и соответствующие страницы памяти помечаются к удалению и могут применяться в процедуре Garbage Collection.

TRIM

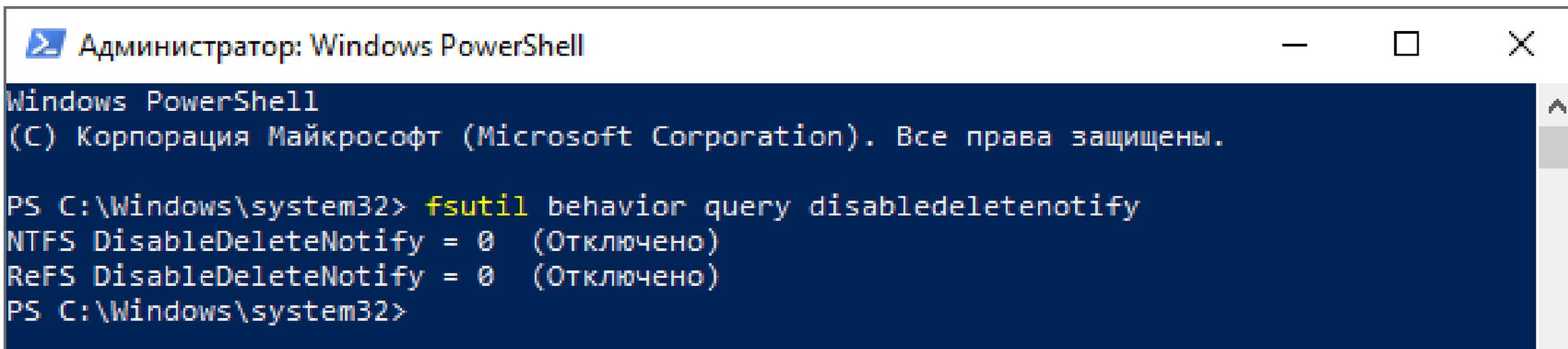
- Узнать, поддерживает ли SSD команду TRIM можно при помощи достаточно большого количества свободно распространяемого программного обеспечения. Возьмём, к примеру, CrystalDiskInfo:

The screenshot shows the CrystalDiskInfo 8.0.0 interface. The main display area shows the drive model "KINGSTON A400R256GB 256,0 GB" and a health status of "Хорошо" (Good) with a temperature of "26 °C". The "Возможности" (Features) section is highlighted with a red box, showing "S.M.A.R.T., APM, NCQ, TRIM".

ID	Атрибут	Текущее	Наихуд...	Порог	Raw-значения
01	Ошибки чтения	0	100	0	000000000000

TRIM. Работает или нет?

- Для начала – попробуем это узнать прямо у операционной системы.
- В запущенной от имени Администратора командной строке или PowerShell вводим команду «**fsutil behavior query disabledeletenotify**» без кавычек и смотрим на результат.
- Если в выводе значатся «**0**», то это хорошо – TRIM работает.
- Если «**1**», то функционал TRIM недоступен.
- Всё верно: ноль – включённая команда, 1 – выключенная команда.



```
Администратор: Windows PowerShell
Windows PowerShell
(C) Корпорация Майкрософт (Microsoft Corporation). Все права защищены.

PS C:\Windows\system32> fsutil behavior query disabledeletenotify
NTFS DisableDeleteNotify = 0 (Отключено)
ReFS DisableDeleteNotify = 0 (Отключено)
PS C:\Windows\system32>
```

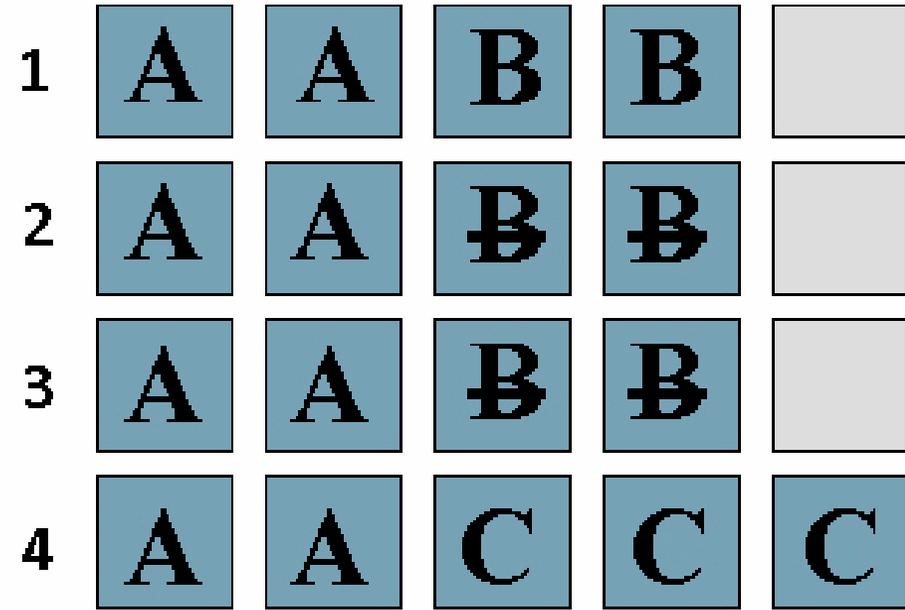
SSD. Удаление/ Запись файла

- **Когда вы создаёте файл**, операционная система отправляет команду записи по адресу определенного логического блока.
- **Когда вы удаляете данные с диска**, эти блоки помечаются свободными.
- **При этом, данные останутся на диске пока контроллер не захочет их перезаписать.**
- Рассмотрим пример. Перед нами часть памяти, в которой находятся файлы А и В разных размеров, занимающих, соответственно, разное количество блоков. Сначала мы удаляем файл В, а затем записываем файл С на наш диск.
- Рассмотрим данную задачу как есть и с командой TRIM.

SSD. Удаление/ Запись файла

- Для наглядного представления ситуации, когда **TRIM не работает**, добавим простую иллюстрацию, в которой обозначены следующие состояния:
 1. Наличие файлов А и В.
 2. Удаление нашими руками файла В.
 3. Определённое время бездействия. Заметим, что помеченные на очистку блоки данных так и остались с данными в них.
 4. Запись файла С, но сначала – удаление файла В из ячеек.

ШАГ

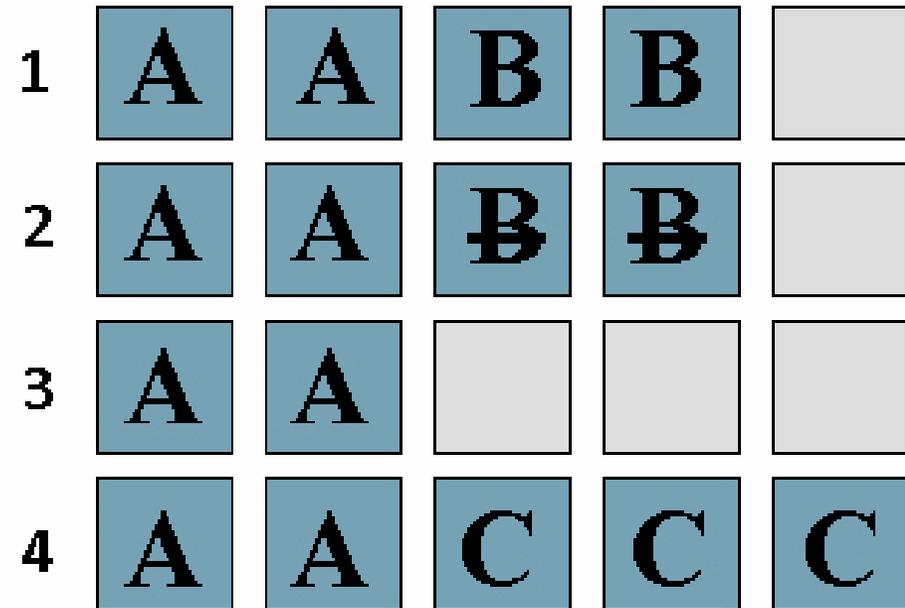


К примеру, если представить, что блок данных в виде квадратика составляет 1 МБ, то на этапе 4 контроллер сначала зачищает помеченные на удаление два блока данных с файлом В и только потом записывает файл С. Если пара мегабайт места – ещё мелочи, но при активной работе с накопителем таких блоков в сумме может быть гигабайты, что уже заметно повлияет на время выполнения операций записи.

SSD. Удаление/ Запись файла (TRIM)

- А теперь что происходит, если **TRIM** работает.
- Снова по этапам:
 1. Наличие файлов А и В.
 2. Удаление нашими руками файла В.
 3. Определённое время бездействия, в которое помеченные на удаление блоки с файлом В очищаются.
 4. Запись файла С без каких-либо задержек в область, где был файл В.

ШАГ



То есть, логика работы совсем другая. Повторим пройденное — в момент удаления нами файла В отправляется команда TRIM, и, поскольку в SSD достаточно часто простаивает, он с радостью удаляет ненужные блоки практически сразу. И в момент того, как мы хотим записать файл С, то он сразу же записывается на диск, а не ждёт пока для него очистят блоки с мусором.

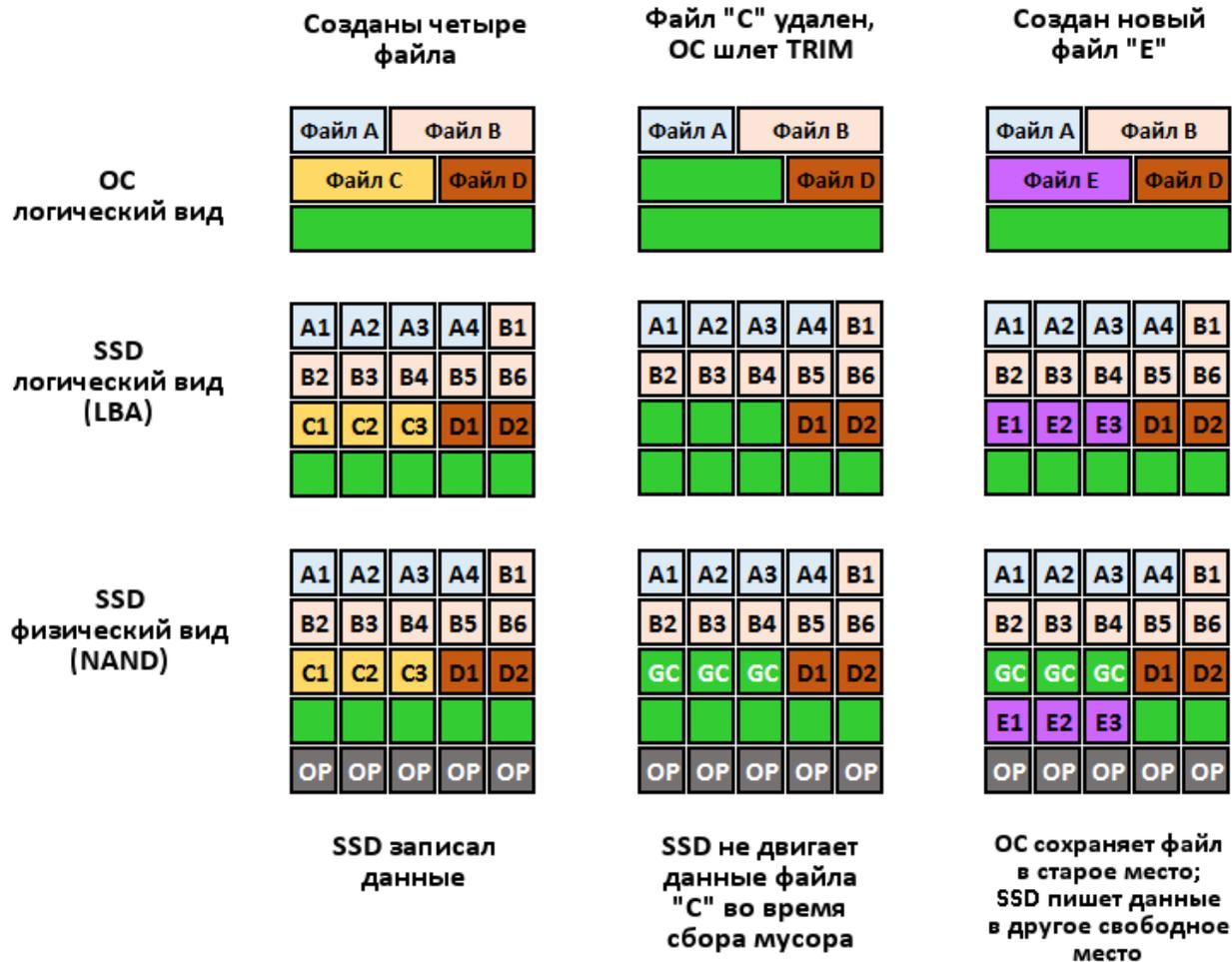
SSD. Удаление/ Запись файла

	1. Пользователь записывает четыре новых файла	2. Пользователь удаляет файл «С».	3. Пользователь записывает новый файл «Е»
OS Logical View			
SSD Logical View (LBAs)			
SSD Physical View	<p>Over Provisioning</p>		
	SSD writes new data; only SSD knows about OP	Only OS knows location C1 & C2 are no longer valid and SSD keeps rewriting it during GC	OS writes new file to old location; SSD marks old location ready for GC and file E gets written elsewhere

SSD. Удаление/ Запись файла (TRIM)

	1. Пользователь записывает четыре новых файла	2. Пользователь удаляет файл «С». ОС использует TRIM	3. Пользователь записывает новый файл «Е»
OS Logical View			
SSD Logical View (LBAs)			
SSD Physical View			
	SSD writes new data; only SSD knows about OP	TRIM from OS tells SSD to ignore the data in the location previously holding file "C" during GC	OS writes new file to old location; SSD writes file E to another free area

SSD. Удаление/ Запись файла (TRIM)



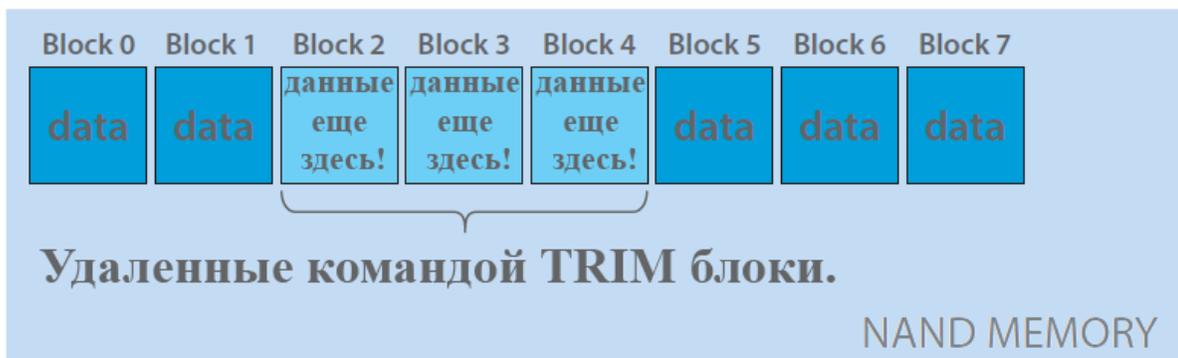
Легенда

	Свободное место		Сбор мусора (garbage collection)
	Фрагмент файла		Резервная область (over-provisioning)

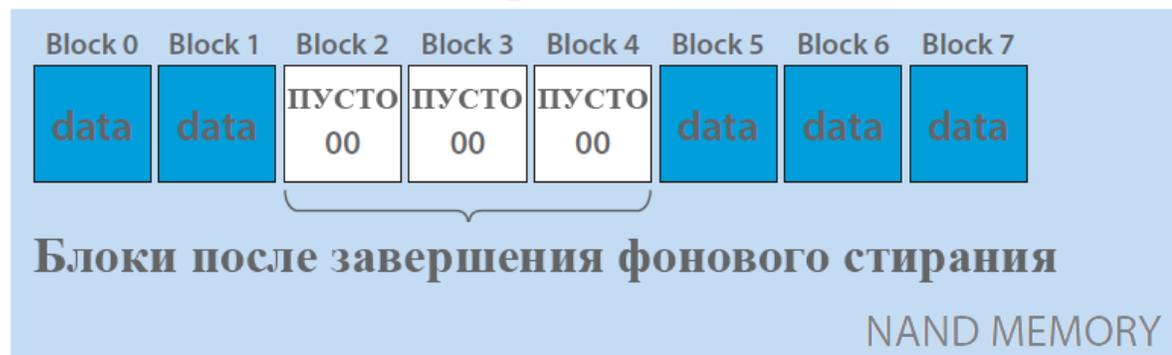
TRIM

TRIM на современных SSD. Стирание блока.

Состояние сразу после удаления данных.



Через 1 - 24 часа

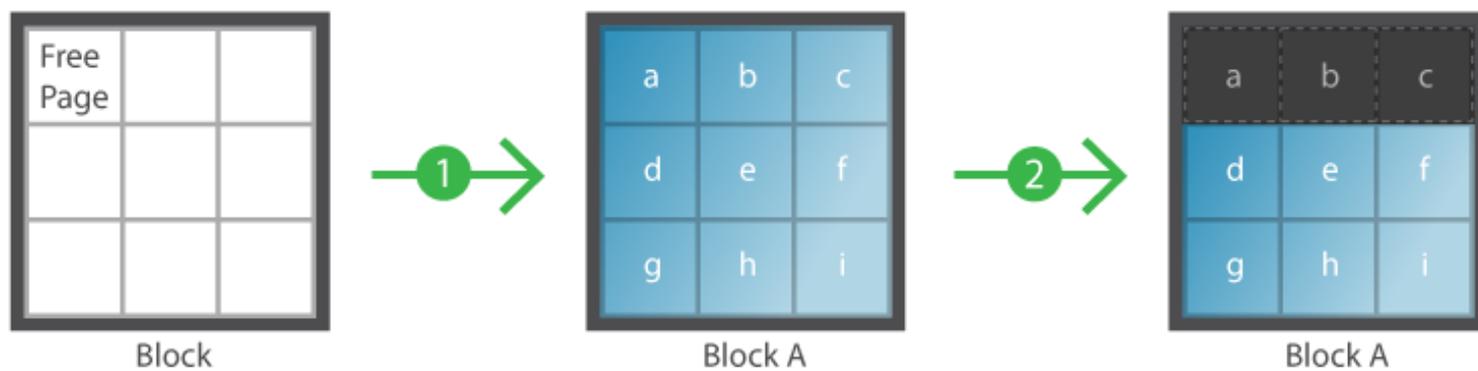


Технология Over-Provisioning

- **Технология Over-Provisioning (OP) – это технология оптимизации прошивки, которая резервирует некоторый объём памяти твердотельного накопителя (SSD) под нужды контроллера в качестве кэш-памяти.**
- Использование OP позволяет более эффективно выполнять сборку мусора (GC), поддерживать производительность, увеличить выносливость и продлить срок жизни SSD.

Сборка Мусора (Garbage collection)

- Как работает сборка мусора?
- В Твердотельных накопителях контроллер записывает информацию в пустое место FLASH памяти, и если ячейки памяти должны быть перезаписаны, они сначала стираются, перед тем как новая информация будет на них записана.
- *Для FLASH памяти, самая маленькая единица информации, которая может быть записана – это страница; самая маленькая единица информации, которая может быть стерта – это блок.

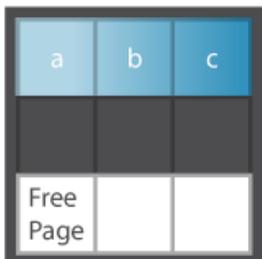


1. Данные записываются на 9 страниц блока А – операция записи завершена, все страницы заполнены.

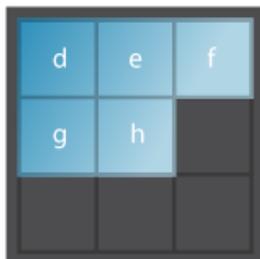
2. Информация в страницах а-с удалена, но страницы не могут быть стерты по отдельности. Вместо этого, они отмечены как “нечитаемые”, и не могут быть больше записаны на данной стадии.

Сборка Мусора (Garbage collection)

1



Block A

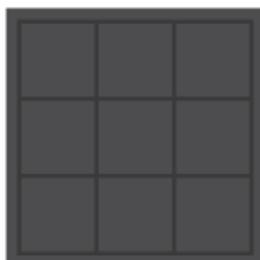


Block B

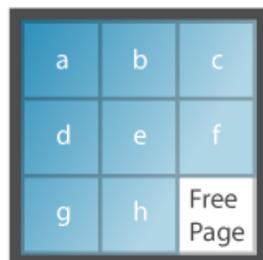
2



Block A



Block B



Block C

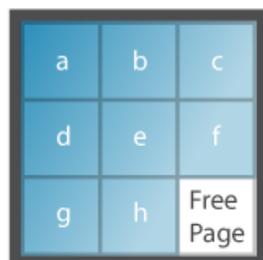
3



Block A



Block B



Block C

1. Когда нужно записать 3 страницы информации j-l, для них оказывается недостаточно места в блоке А.

2. Система затем перемещает страницы d-i в блок В, после этого полностью стирает блок А и записывает туда страницы j-l.

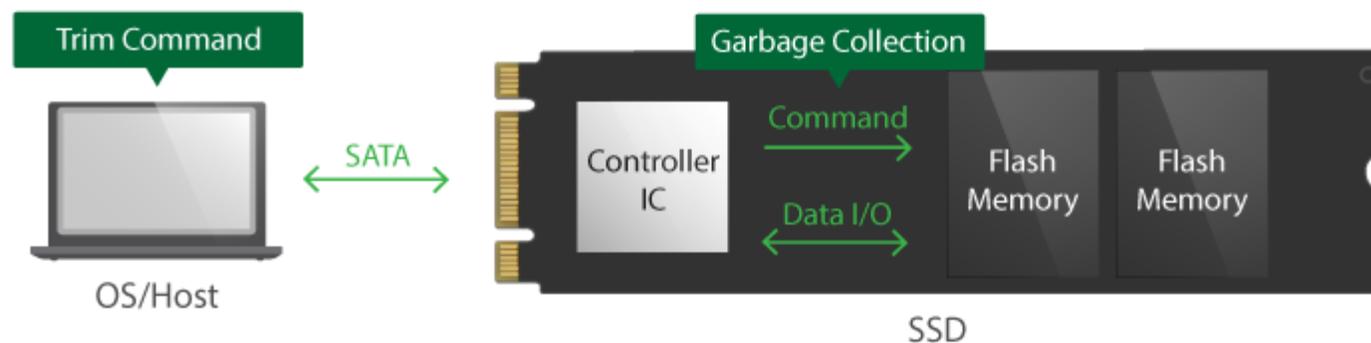
3. В конце блоки А и В стираются

Так как при сборке мусора происходят дополнительные циклы операций записи/стирания, это приводит к увеличению фактора усиления записи, что может сказаться на долговечности твердотельного накопителя.

Сборка Мусора (Garbage collection)

- **Преимущества сборки мусора**

- На первых SSD сборка мусора проводилась, как только обнаруживалось, что в блоке недостаточно места для записи информации.
- Такой механизм сборки мусора значительно уменьшал производительность твердотельных накопителей.
- Более продвинутые контроллеры на современных SSD, при обычных условиях использования, проводят сборку мусора, когда накопитель не производит никаких операций чтения или записи.
- Такой механизм не уменьшает производительности SSD, а подготовленные к записи блоки памяти способствуют более быстрому распределению данных на накопителе.



Сборка Мусора (Garbage collection)

BLOCK A		
1	2	3
4	5	free
free	free	free
free	free	free
free	free	free

BLOCK A		
stale	stale	stale
stale	stale	1+
2+	3+	4+
5+	free	free
free	free	free

BLOCK A		
stale	stale	stale
stale	stale	1+
2+	3+	4+
5+	6	7
8	9	10

BLOCK A		
free	free	free

Update pages 1-5

Update pages 6-10

Run garbage collection

BLOCK B		
free	free	free

BLOCK B		
free	free	free

BLOCK B		
free	free	free

BLOCK B		
1+	2+	3+
4+	5+	6
7	8	9
10	free	free
free	free	free

Сборка Мусора (Garbage collection)

Block X	A	B	C
	D	free	free
	free	free	free
	free	free	free
Block Y	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free

1. Четыре страницы (A-D) записаны в блок X.

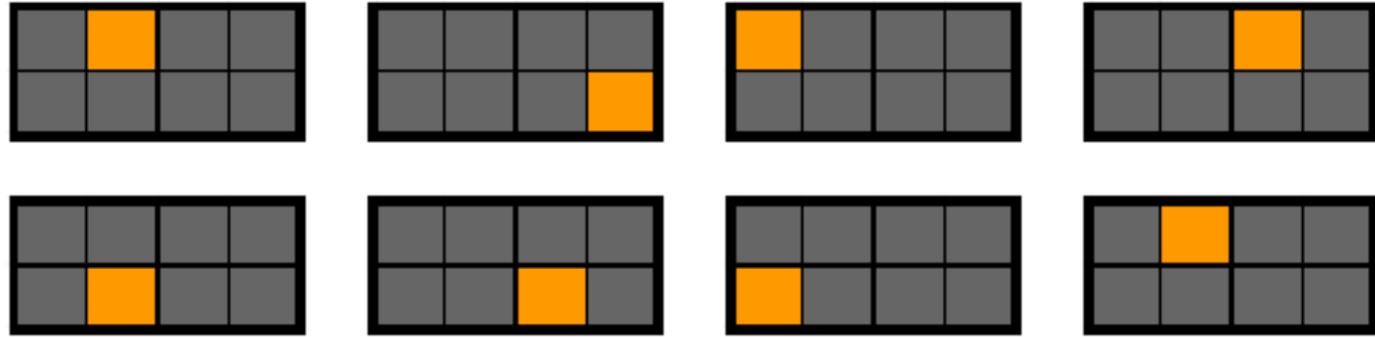
Block X	A	B	C
	D	E	F
	G	H	A'
	B'	C'	D'
Block Y	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free

2. Четыре новые (E-H) и четыре обновленные страницы (A'-D') записаны в блок X. Страницы A-D подлежат удалению.

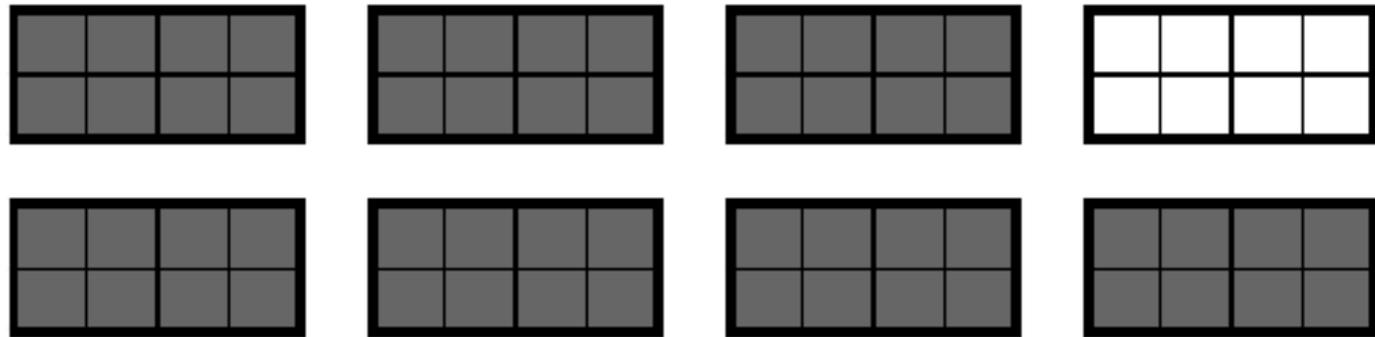
Block X	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free
	free	free	free
Block Y	free	free	free
	free	E	F
	G	H	A'
	B'	C'	D'

3. Все нужные страницы (E-H & A'-D') считаются и записываются в блок Y. После этого блок X стирается.

Сборка Мусора (Garbage collection)



Сборка мусора



Занято данными

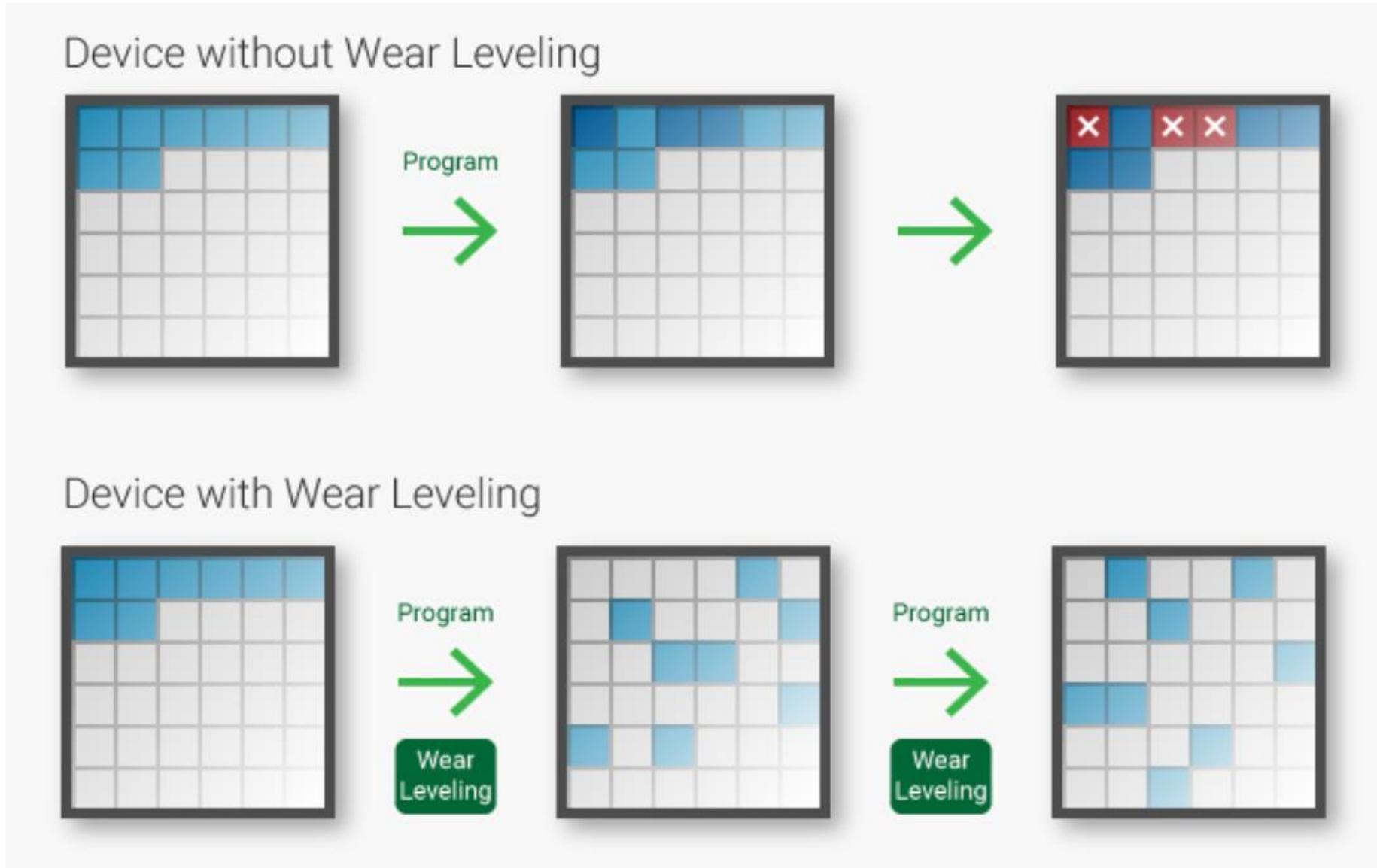


Готово для записи



Неактуальные данные

Алгоритм выравнивания износа (Wear Leveling)



Wear leveling обеспечивает равномерное использование и износ ячеек

Алгоритм выравнивания износа (Wear Leveling)

- **Алгоритм выравнивания износа**, также называемый **Wear Leveling**, распределяет операции записи равномерно по всем ячейкам памяти, предотвращая преждевременный износ отдельных участков накопителя.
- Это увеличивает общий срок службы устройства и снижает вероятность ошибок при чтении данных. Кстати, именно wear leveling отличает хорошие флешки от посредственных.
- **Он работает на уровне контроллера устройства**, перемещая часто изменяемые данные между разными физическими блоками памяти.
- Таким образом удастся избежать ситуации, когда некоторые ячейки подвергаются чрезмерному износу, в то время как другие остаются малоиспользованными.
- Механизм выравнивание износа используется для того, чтобы запись всегда проводилась в блоки памяти с наименьшим количеством циклов перезаписи, для усреднения циклов перезаписи всех блоков памяти, и в общем для увеличения долговечности устройства.
- Эта технология стала стандартом индустрии для FLASH накопителей.

Алгоритм выравнивания износа (Wear Leveling)

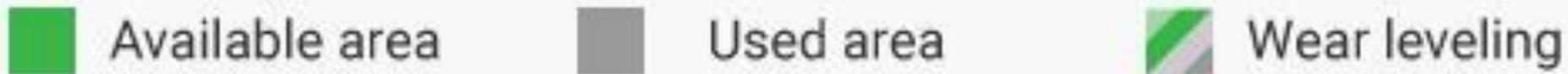
- **Механизм выравнивания износа.**
 - **Механизмы выравнивания износа могут быть разделены на 3 типа:** Динамичное, Статичное и Глобальное. Основным различием между типами является используемая область устройства, предназначенная для выравнивания износа.
- **Динамичное выравнивание износа**
 - При применении этой техники используется только свободное место на накопителе. Операции записи происходят на блоки с наименьшим количеством перезаписи в пределах свободного пространства накопителя
- **Статичное выравнивание износа**
 - В данном случае, каждый чип накопителя рассматривается как единое пространство, независимо от того, записана ли информация в блоки памяти или нет. Записанные блоки информации перемещаются в пределах одного чипа в наиболее подходящие блоки для того, чтобы освободить блоки с более низким количеством циклов перезаписи для последующего использования.
- **Глобальное выравнивание износа**
 - Для глобального выравнивания износа требуется более мощный контроллер, по сравнению с двумя предыдущими типами. Этот тип очень схож со статическим выравниванием износа, но при этом пространство для действия контроллера не ограничено отдельными чипами памяти, а распространяется на все пространство накопителя.

Алгоритм выравнивания износа (Wear Leveling)

Dynamic Wear Leveling



Static Wear Leveling



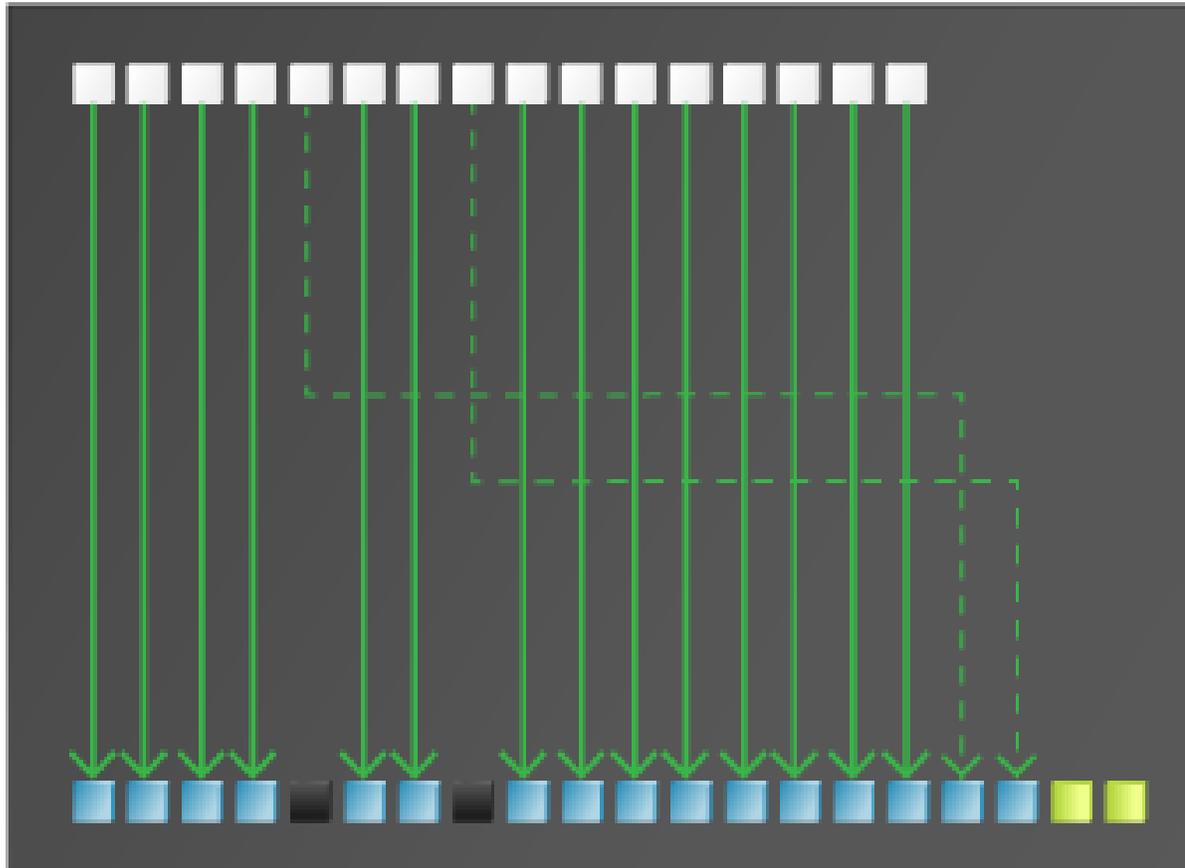
Управление поврежденными блоками

Bad block management (ECC - Error Correction Code)

- **Управление поврежденными блоками** заключается в выявлении поврежденных блоков и замене их на зарезервированные запасные блоки. Эта операция предотвращает возможность записи информации на поврежденные блоки, что может привести к полной ее потере, и увеличивает надежность продукции в целом.
- **Два вида поврежденных блоков**
- **Существует два вида поврежденных блоков у NAND флеш памяти: ранние и поздние.**
 - **К ранним поврежденным блокам** относят те, которые были созданы еще при производстве самого чипа. Они составляют примерно около 1% всей емкости. Этот вид поврежденных блоков является неизбежным результатом производственного процесса.
 - **Поздние поврежденные блоки** создаются со временем при обычной эксплуатации флеш памяти и связаны с повторяющимися циклами стирания-записи ячеек памяти.
- **Около 7% емкости накопителя зарезервированы как запасные блоки памяти для дальнейшей замены поврежденных блоков.**

Управление поврежденными блоками

Bad block management (ECC - Error Correction Code)



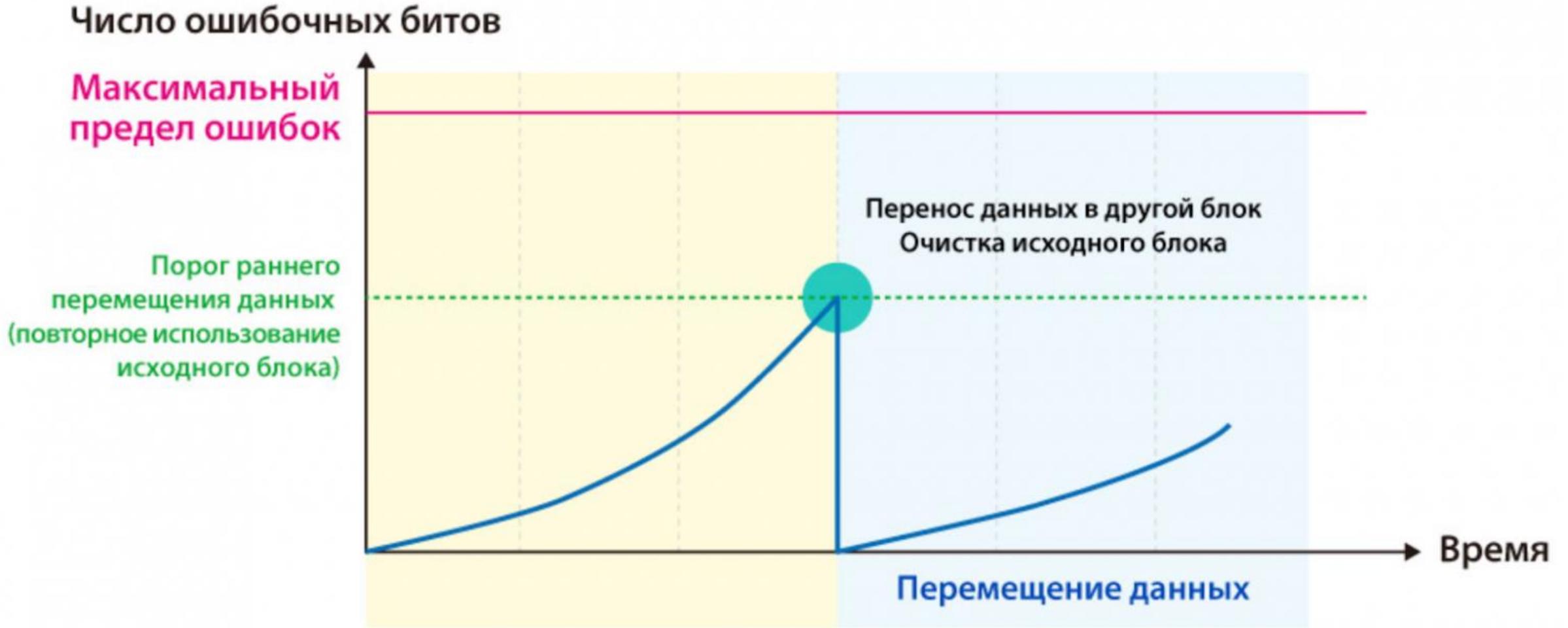
- Logical Block
- Good Physical Block
- Bad Physical Block
- Reserved for future Bad Block

Управление поврежденными блоками

Bad block management (ECC - Error Correction Code)

- **Как работает Управление поврежденными блоками?**
- Во время первого включения накопителя встроенная в контроллер программа управления проверяет каждый блок и создает журнал поврежденных блоков. В случае с ранними поврежденными блоками программа сразу же заносит их в журнал и предотвращает любое использование этих блоков с самого начала. В случае с поздними поврежденными блоками, как только контроллер обнаруживает поврежденный блок, он добавляет этот блок в журнал и переносит всю записанную в блоке информацию в другой здоровый блок, чтобы избежать потери данных.
- Контроллер сначала приводит в действие алгоритм исправления ошибок (**ECC - Error Correction Code**) для блоков, в которых он не может привести операцию записи. При неудачной попытке применить алгоритм исправления ошибок, записанная в блоке информация переносится в запасной блок. После того, как вся информация перенесена и стерта со старого блока, он заносится в журнал поврежденных блоков, чтобы предотвратить использование этого блока в дальнейшем.

Технология раннего перемещения данных (Early Move)



Технология раннего перемещения данных (Early Move)

- **Технология раннего переноса (Early Move) предполагает перемещение данных из ячеек, которые показывают признаки деградации, в новые ячейки до того, как произойдет потеря информации.**
- Число ошибочных битов неизбежно увеличивается по мере записи, стирания и повторной записи данных (так называемых P/E циклов). Это, в свою очередь, вызывает постепенное ухудшение состояния блока из-за его износа на физическом уровне, повышая вероятность появления ошибок в данных. Такая ситуация известна как «нарушение чтения» (Read Disturbance).
- Благодаря технологии раннего перемещения данных, контроллер отслеживает ошибочные биты при каждой попытке чтения, обнаруживая и исправляя ошибки.
- Когда счётчик стирания в блоке достигает заранее определённого порога, данные из этого блока перемещаются в другую.
- Затем исходный блок стирается и перемещается в резерв. Это позволяет избежать полного повреждения отдельных блоков, что продлевает срок службы всего устройства.
- Ранний перенос особенно эффективен в сочетании с вспомогательными методами хранения данных, такими как RAID-массивы или распределенные системы хранения.
- С ранним переносом можно даже проводить профилактическое обслуживание без прерывания работы системы и снижения производительности.

Шифрование в SSD (Encrypt & Decrypt Engine)

- Шифрование преобразует информацию, введенную в цифровое устройство, в блоки данных, которые кажутся бессмысленными.
- Чем сложнее процесс шифрования, тем более неразборчивыми и не поддающимися расшифровке будут данные. И наоборот, дешифрование восстанавливает исходную форму зашифрованных данных, делая их снова доступными для чтения.
- **Диски с самошифрованием (SED / Self-Encrypting Drive)** существуют на рынке в течение многих лет, но на самом деле очень немногие люди полностью используют возможности этих накопителей. Такие **SSD используют механизм шифрования, встроенный в контроллер накопителя**, для шифрования каждого файла, хранящегося в ячейках флэш-памяти. Этот аппаратный метод шифрования обеспечивает высокий уровень безопасности данных, невидим для пользователя, не может быть отключен и не влияет на производительность.
- **В большей части SSD с самошифрованием шифрование реализовано по стандартам TCG Opal 2.0 и IEEE 1667 и поддерживает шифрование данных с использованием алгоритма AES-256.**

Шифрование в SSD (Encrypt & Decrypt Engine)

- **SSD с встроенным шифрованием (SED, Self-Encrypting Drives)** — это твердотельные накопители, которые обеспечивают аппаратное шифрование данных в режиме реального времени. Это означает, что **все данные, записываемые на диск, автоматически шифруются, а при чтении — расшифровываются, без участия операционной системы или дополнительного программного обеспечения.**
- SSD с аппаратным шифрованием AES 256 бит являются лучшим решением, где защита информации оказывает решающее значение. **Чтобы использовать безопасность данных на физическом уровне, аппаратное шифрование SSD должно быть сопряжено с паролем пользователя.** После установки авторизованного ключа с помощью команды безопасности ATA **каждый раз при включении системы с зашифрованным SSD у вас будет запрашиваться пароль для доступа к SSD.** Если пароль правильный, SSD будет работать нормально; если нет, то тогда вы не сможете получить доступ к SSD.
- Сложность AES-шифрования обеспечивает невозможность его дешифрования методом подбора пароля. Ключ шифрования генерируется произвольно и неизвестен как пользователю, так и производителю. Ключ можно уничтожить менее чем за секунду, сделав все хранящиеся данные бесполезными, поскольку их невозможно будет расшифровать.
- Все операции выполняются аппаратным обеспечением SSD, что означает нулевую нагрузку на ресурсы системы при шифровании и дешифровании данных. Будучи аппаратно реализованным, AES-шифрование полностью ОС-независимое и работает безотказно вне зависимости от используемой системы.

SSD с аппаратным шифрованием

Каталог Onliner / Компьютеры и сети / Хранение данных

SSD

onliner

Каталог [Объявления](#)



Сборки ПК от эксперта Onliner. Обновленная подборка >
106 986 просмотров

Аппаратное шифрование

Сначала популярные



Prime

Доставка со склада Onliner в удобное для вас время



Minipay

Оплата товаров мини-платежами раз в месяц



Суперцена

Доставка в **Минск**

С доставкой по Беларуси

Onliner рекомендует

Производитель

Kingston

ADATA

Samsung



РЕКЛАМА

SSD ADATA XPG GAMMIX S70 Blade 1TB AGAMMIXS70B-1T-CS

★★★★☆ 4,3 (6) Обсуждение (2)

- 1 ТБ
- M.2 2280
- PCI Express 4.0 x4
- контроллер Innogrit IG5236
- микросхемы 3D TLC NAND
- последовательный доступ: 7400/5500 МБайт/с
- случайный доступ: 740000/740000 IOps
- совместимость с PSS

от **298,29 р.**

- Вернем до 5% на «Клевер»
- Оплата частями **Minipay** от 9,07 р./мес.
- По Халве до 5 мес.

50 предложений



Prime Onliner рекомендует

SSD Samsung 980 1TB MZ-V8V1T0BW

★★★★★ 4,9 (86) Обсуждение (30)

- 1 ТБ
- M.2 2280
- PCI Express 3.0 x4
- контроллер Samsung Pablo
- микросхемы 3D TLC NAND
- последовательный доступ: 3500/3000 МБайт/с
- случайный доступ: 500000/480000 IOps

-9%

от **299,72 р.** ~~329,93 р.~~

- Вернем до 5% на «Клевер»
- Оплата частями **Minipay** от 9,11 р./мес.
- По Халве до 5 мес.
- Кредит «На родные товары» под 4%

66 предложений

https://catalog.onliner.by/ssd?hdd_encryption=1

Power Shield (PS)

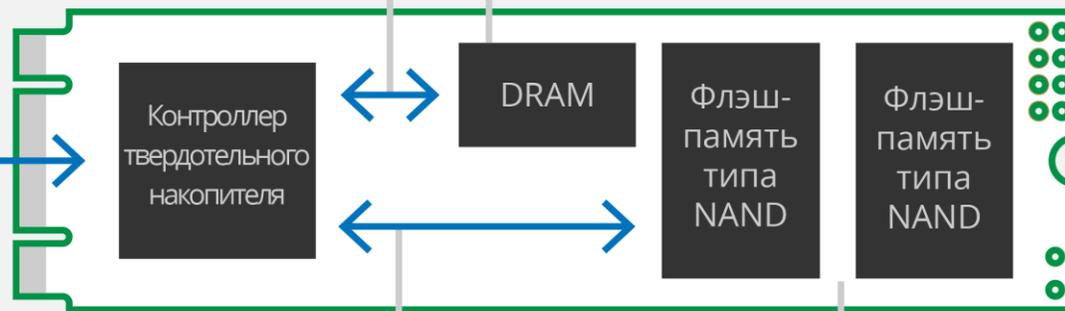
- Неожиданное отключение питания несет угрозу сохранности данных.
- В случае неожиданного отключения питания потеря данных может произойти по ряду причин:

Хост

Твердотельный накопитель (с DRAM-кэшем)



1 Команды записи, выданные контроллеру твердотельного накопителя.



2 Копирование данных между контроллером и кэшем DRAM.

3 Данные, которые временно хранятся в DRAM-кэше.

4 Данные, переписываемые из контроллера во флэш-память.

5 Данные, которые хранятся во флэш-памяти NAND.

Power Shield (PS)

- **Power Shield (PS)** — это базовая технология, которая поддерживается всеми встроенными твердотельными накопителями Transcend и позволяет предотвратить потерю данных во флэш-памяти NAND в случае непредвиденного отключения питания.
- Встроенная схема измерения напряжения (VDT) контроллера постоянно отслеживает параметры внешнего источника питания. В случае падения напряжения питания с 5 до 4 В или же с 3,3 до 2,7 В срабатывает схема VDT, которая запускает механизм PS. Когда происходит внезапное отключение питания, включается схема PS, предотвращающая выполнение контроллером новых команд записи. Выполнение операций записи прекращается, чтобы защитить хранимые во флэш-памяти NAND данные и прошивку накопителя от возможных повреждений.

Power Loss Protection (PLP)

- **Power Loss Protection** – это технология, которая позволяет обеспечить целостность данных при внезапном отключении электропитания.
- **Power Loss Protection** – это технология для твердотельных накопителей, выполненных с применением микросхем DRAM, которая позволяет обеспечить целостность данных при внезапном отключении электропитания. За счет дополнительных конденсаторов, в случае незапланированного отключения питания, PLP помогает продлить время работы устройства для завершения процесса копирования данных из DRAM-кэша в энергонезависимую флэш-память.
- При включенном питании компьютера эти конденсаторы заряжаются. После внезапного отключения питания заряженные конденсаторы продолжают питать твердотельный накопитель, что позволяет нормально завершить текущие процессы записи данных из DRAM-кэша в энергонезависимую флэш-память.

Power Loss Protection (PLP)

• Как работает PLP?

- Твердотельный накопитель имеет встроенный детектор напряжения, который постоянно отслеживает текущее напряжение обеспечиваемого хостом питания.

- Возьмем, к примеру, модель SSD452P компании Transcend.

- В случае внезапного отключения питания, детектор задействует технологию PLP, при снижении напряжения со стандартных 5 В до 4 В.

- На этом этапе PLP позволяет избежать повреждения данных, которые хранятся во флэш-памяти NAND. Встроенные конденсаторы обеспечивают достаточное напряжение питания для копирования всех данных из DRAM-кэша во флэш-память NAND. Когда напряжение падает ниже 2,6 В, флэш-память NAND переходит в режим защиты от записи, и дальнейшая запись данных становится невозможна.



Power Loss Protection (PLP)

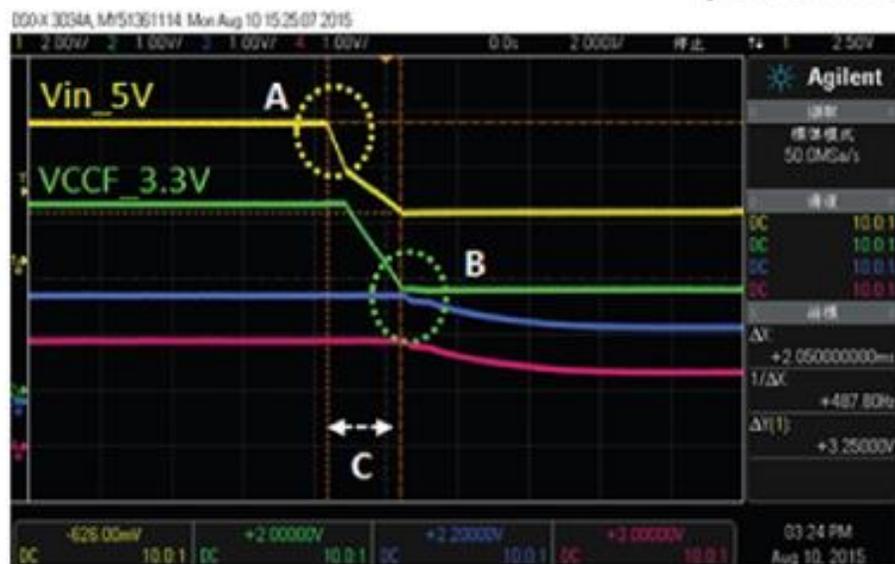
• Сбой питания с и без использования PLP

- Продлевая период между моментом внезапного отключения питания и переходом флэш-памяти в режим защиты от записи, твердотельный накопитель может выполнить большее количество операций записи данных из DRAM-кэша во флэш-память NAND.
- При использовании PLP у твердотельного накопителя остается 75 миллисекунд на завершение копирования данных, прежде чем напряжение питания снизится до 2,6 В, и будет задействован режим защиты от записи флэш-памяти NAND. Без PLP у твердотельного накопителя на это есть только 2 миллисекунды.

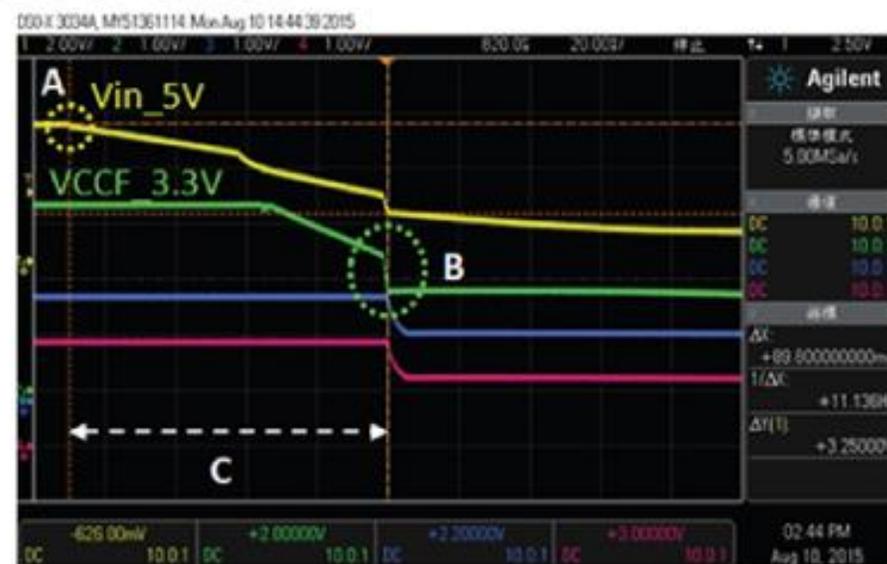
A. При внезапном отключении питания, напряжение начинает снижаться

B. Когда напряжение падает ниже 2,6 В, флэш-память NAND переходит в режим защиты от записи

C. Время завершения записи данных



Без использования PLP



При использовании PLP

Power Loss Protection (PLP) / Power Shield (PS)

	Power Loss Protection (PLP)	Power Shield (PS)
Аппаратное обеспечение	Благодаря встроенному детектору напряжения (VDT) и дополнительным полимерным танталовым конденсаторам (PTC), технология PLP продлевает работу накопителя при падении напряжения с 4 до 2,3 В и позволяет сохранить данные из временного DRAM-буфера во флэш-память NAND.	При падении внешнего напряжения питания до определенного уровня встроенный детектор напряжения (VDT) контроллера запускает механизм PS. Контроллер твердотельного накопителя прекращает принимать новые команды записи во флэш-память.
Прошивка	Сразу после срабатывания функции PLP прошивка автоматически выполняет запись данных из DRAM-кэша во флэш-память NAND.	Контроллер твердотельного накопителя прекращает принимать новые команды записи от хоста, что позволяет обеспечить целостность данных, которые хранятся во флэш-памяти NAND.

S.M.A.R.T.

- **Технология SMART (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology)** появилась задолго до появления SSD накопителей. Первоначально ее разрабатывали для жестких дисков и со временем адаптировали также и под накопители SSD.
- Эта технология является инструментом, который позволяет собирать и сохранять данные о состоянии вашего SSD накопителя для того, чтобы заранее предупредить пользователя о возникновении серьезных ошибок и возможности выхода вашего накопителя из строя и соответственно предотвратить потерю важных данных.
- Технология SMART имеет много атрибутов, которые можно использовать для сбора информации о состоянии вашего накопителя.

S.M.A.R.T.

- На компьютерах и устройствах с Windows самый простой способ считывания данных SMART с жесткого диска или с SSD — использование специализированных приложений. Там немало, но многие из них либо плохо развиты, либо стоят денег.
- Из всех приложений, которые могут считывать данные SMART, лучшим из тех, которые мы рекомендуем использовать, является **CrystalDiskInfo**. Он бесплатный, способен считывать атрибуты SMART, а также является одним из немногих таких приложений, которые могут получать данные SMART как с дисков IDE (PATA), SATA и NVMe, так и с портативных дисков, использующих eSATA, USB, или IEEE 1394.
- Еще один отличный способ проверки состояния SMART SSD — использование приложений, предоставленных его производителем.

- **CrystalDiskInfo**

<https://sourceforge.net/projects/crystaldiskinfo/>
<https://crystalmark.info/en/>

CrystalDiskInfo 9.6.1 x64

Файл Правка Сервис Вид Диск Справка Язык(Language)

Хорошо 51 °C C: Хорошо 36 °C D: Хорошо 33 °C E: Хорошо 33 °C F: Хорошо 34 °C G:

CT500MX500SSD4 : 500,1 GB

Техсостояние
Хорошо
83 %

Температура
51 °C

Прошивка	M3CR020	-----	-----
Серийный номер	1824E143E2D3	Всего хост-записей	31995 GB
Интерфейс	Serial ATA	Скорость вращения	----- (SSD)
Режим передачи	SATA/600 SATA/600	Число включений	2758 раз
Буква тома	C:	Общее время работы	3584 ч
Стандарт	ACS-3 ACS-3 Revision 5		
Возможности	S.M.A.R.T., APM, NCQ, TRIM, DevSleep, GPL		

ID	Атрибут	Текущее	Наихудш...	Порог	Raw-значения
01	Raw Read Error Rate	100	100	0	000000000000
05	Reallocated NAND Block Count	100	100	10	000000000000
09	Power On Hours Count	100	100	0	000000000E00
0C	Power Cycle Count	100	100	0	000000000006

Параметры SMART

- **Рассмотрим отдельные параметры SMART**
- **(ID 1) Read Error Rate** – содержит частоту возникновения ошибок при чтении.
- **(ID 5) Reallocated Sector Count** – количество переназначенных секторов. Является, по сути, главным атрибутом. Если SSD в процессе работы находит сбойный сектор, то он может посчитать его невосполнимо повреждённым. В этом случае диск использует вместо него сектор из резервной области. Новый сектор получает логический номер LBA старого, после чего при обращении к сектору с этим номером запрос будет перенаправляться в тот, что находится в резервной области. Если ошибка единичная – это не проблема. Но если такие сектора будут появляться регулярно, то проблему можно считать критической.

Параметры SMART

- **(ID 9) Power On Hours** – время работы накопителя в часах, включая режим простоя и всяческих режимов энергосбережения.
- **(ID 12) Power Cycle Count** – количество циклов включения и отключения накопителя, включая резкие обесточивания (некорректное завершение работы).
- **(ID 170) Used Reserved Block Count** – количество использованных резервных блоков для замещения повреждённых.
- **(ID 171) Program Fail Count** – подсчёт сбоев записи в память.
- **(ID 172) Erase Fail Count** – подсчёт сбоев очистки ячеек памяти.
- **(ID 174) Unexpected Power Off Count** – количество некорректных завершений работы (сбоев питания) без очистки кэша и метаданных.

Параметры SMART

- **(ID 175) Program Fail Count Worst Die** – подсчёт ошибок сбоя записи в наихудшей микросхеме памяти.
- **(ID 176) Erase Fail Count Worst Die** – подсчёт ошибок сбоя очистки ячеек наихудшей микросхемы памяти.
- **(ID 178) Used Reserved Block Count worst Die** – количество использованных резервных блоков для замещения повреждённых в наихудшей микросхеме памяти.
- **(ID 180) Unused Reserved Block Count (SSD Total)** – количество (или процент, в зависимости от типа отображения) ещё доступных резервных блоков памяти.
- **(ID 187) Reported Uncorrectable Errors** – количество неисправленных ошибок.
- **(ID 194) Temperature** – температура накопителя.

Параметры SMART

- **(ID 195) On-the-Fly ECC Uncorrectable Error Count** – общее количество исправляемых и неисправляемых ошибок.
- **(ID 196) Reallocation Event Count** – количество операций переназначения.
- **(ID 197) Pending Sector Count** – количество секторов, требующих переназначения.
- **(ID 199) UDMA CRC Error Count** – счётчик ошибок, возникающих при передаче данных через SATA интерфейс.
- **(ID 201) Uncorrectable Read Error Rate** – количество неисправленных ошибок для текущего периода работы накопителя.
- **(ID 204) Soft ECC Correction Rate** – количество исправленных ошибок для текущего периода работы накопителя.

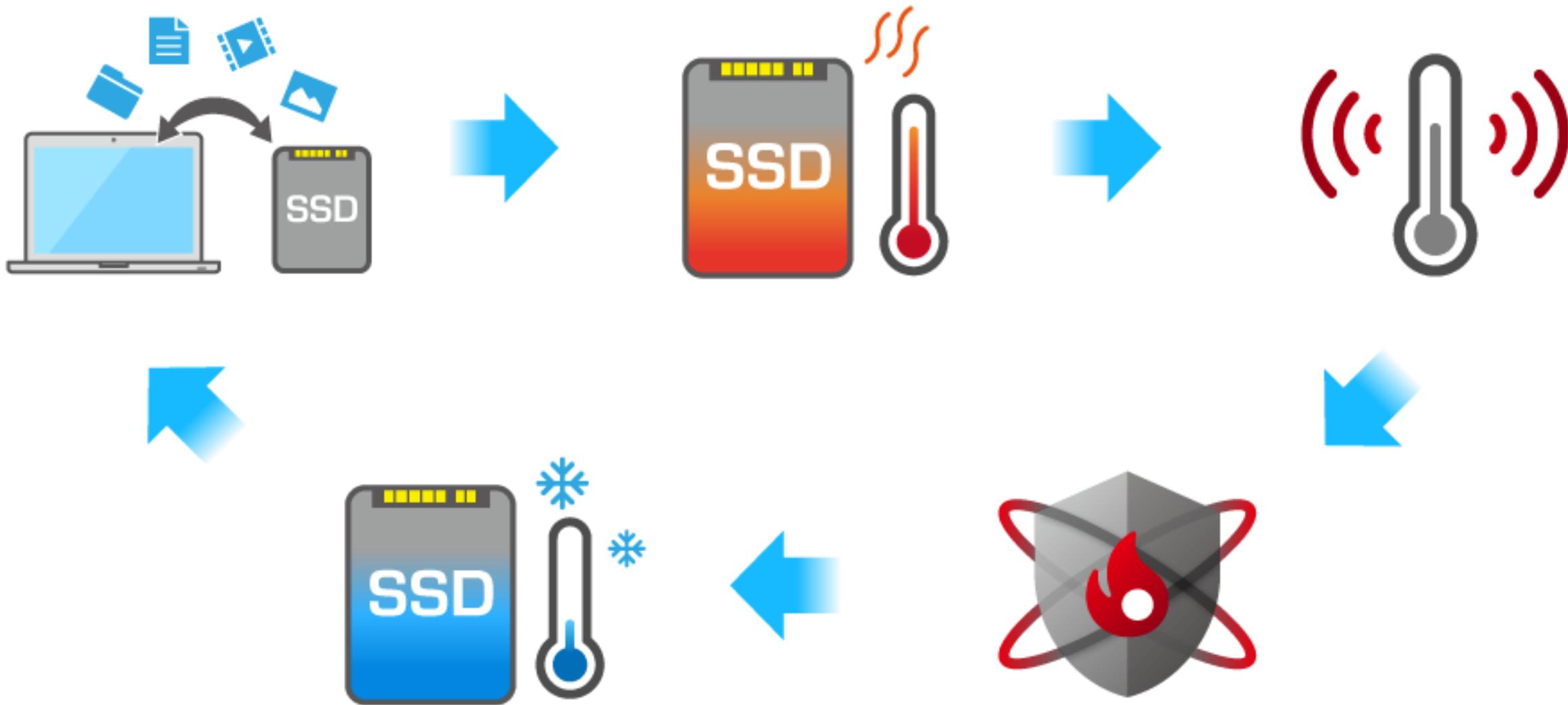
Параметры SMART

- **(ID 231) SSD Life Left** – индикация оставшегося срока службы накопителя на основе количества циклов записи/стирания информации.
- **(ID 241) GB Written from Interface** – объём данных в ГБ, записанных на накопитель.
- **(ID 242) GB Read from Interface** – объём данных в ГБ, считанных с накопителя.
- **(ID 250) Total Number of NAND Read Retries** – количество выполненных попыток чтения с накопителя.
- Подробнее по параметрам SMART можно посмотреть на следующих ресурсах:
 - Технология SMART <https://rlab.ru/doc/smart.html>
 - S.M.A.R.T. <https://ru.wikipedia.org/wiki/S.M.A.R.T.>
 - SMART параметры для SSD накопителя <https://recovery-software.ru/blog/smart-data-for-ssd-drive.html>

Механизм динамического терморегулирования (Dynamic Thermal Throttling)

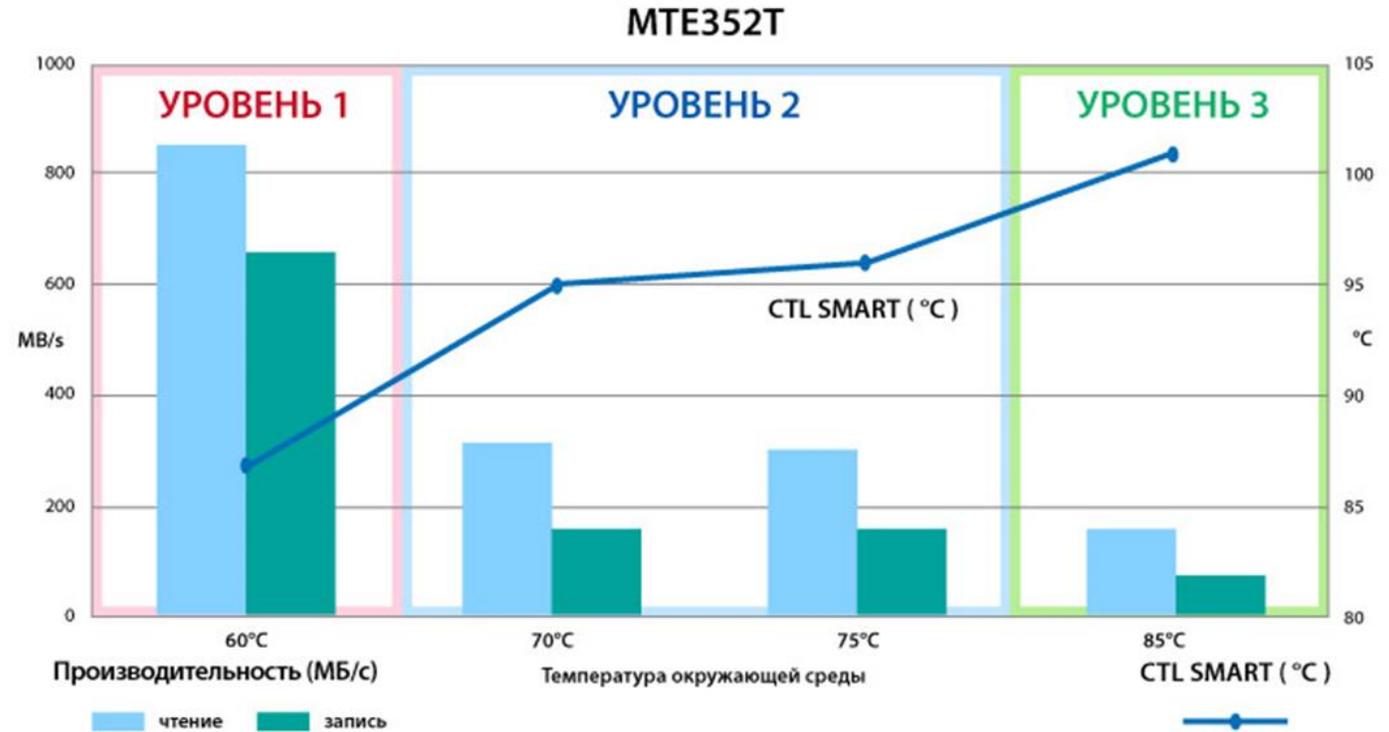
- Большинство компаний стремятся получить высокую производительность при увеличении емкости твердотельных накопителей. По мере того, как твердотельные накопители становятся всё быстрее, чтобы удовлетворить растущие потребности компаний, они вырабатывают больше энергии и выделяют, соответственно, больше тепла. Если устройство работает при слишком высокой температуре в течение длительного периода времени, это может привести не только к сбою работы компонентов, но и к потере данных.
- Помимо **разработки твердотельных накопителей, способных выдерживать более высокие температуры**, еще одним эффективным решением проблемы перегрева является хорошее **управление температурным режимом**. Механизм динамического терморегулирования (Dynamic Thermal Throttling) является основополагающим фактором для SSD.
- В накопителе встроен термодатчик для контроля температуры через S.M.A.R.T. команды. Когда температура превышает определенный пороговый уровень, автоматически активируется механизм динамического терморегулирования для снижения скорости. Накопитель начинает снижать производительность и температуру, тем самым повышая надежность и продлевая срок службы устройства. Механизм динамического терморегулирования проводит замедление производительности по уровням.
- **В итоге Dynamic Thermal Throttling (DTT) помогает продлить срок службы SSD, регулируя температуру во время работы, за счет снижения производительности SSD.**

Механизм динамического терморегулирования (Dynamic Thermal Throttling)



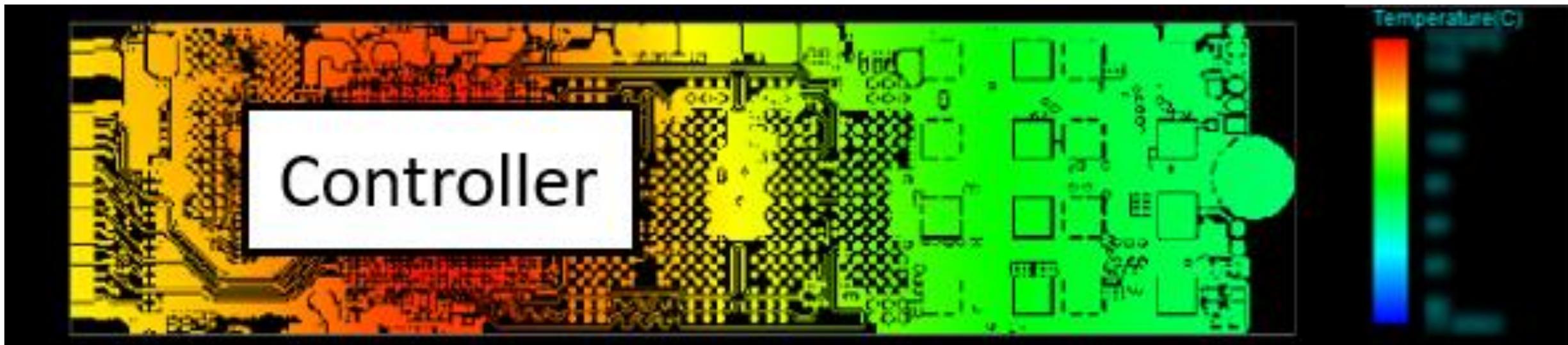
Механизм динамического терморегулирования (Dynamic Thermal Throttling)

- Возьмем, к примеру, M.2 накопитель Transcend MTE352T с интерфейсом PCIe. **1.** Когда температура согласно S.M.A.R.T. достигает **85°C**, активируется первый уровень защиты. Если температура поднимается слишком быстро и, в конечном итоге, **достигает значения 95°C, запускается второй уровень замедления.** При превышении температурного порога более **100°C**, включается третий уровень, чтобы предотвратить перегрев или повреждение накопителя.



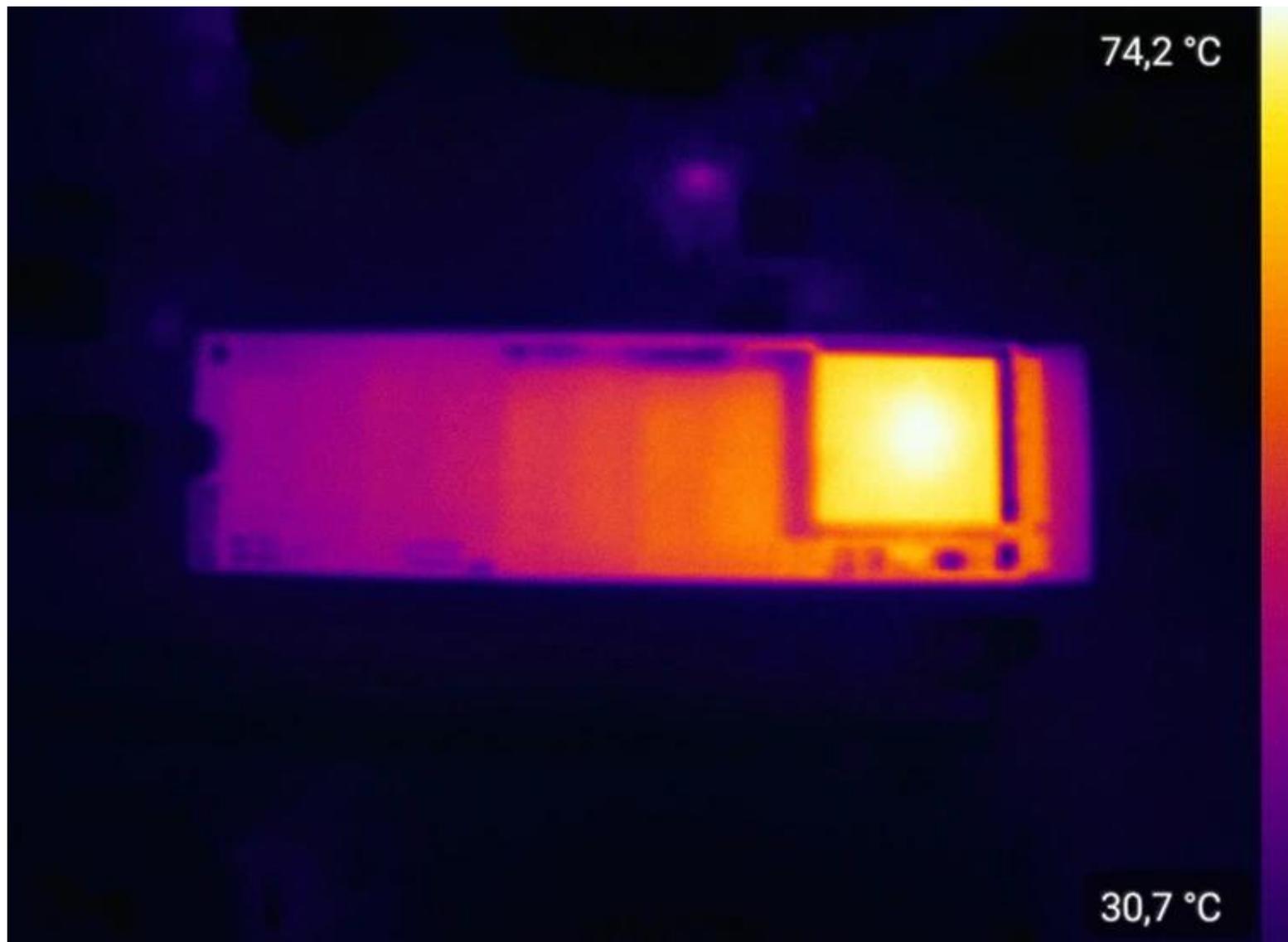
- Поскольку емкость твердотельных накопителей стремительно выросла до одного терабайта и более, большое внимание уделяется повышению производительности. Однако обратной стороной может стать повреждение накопителя, сокращение срока службы и потенциальная потеря данных. Наличие механизма динамического регулирования температуры позволяет оптимизировать производительность, продлить срок службы устройства и повысить целостность данных.

Нагрев SSD



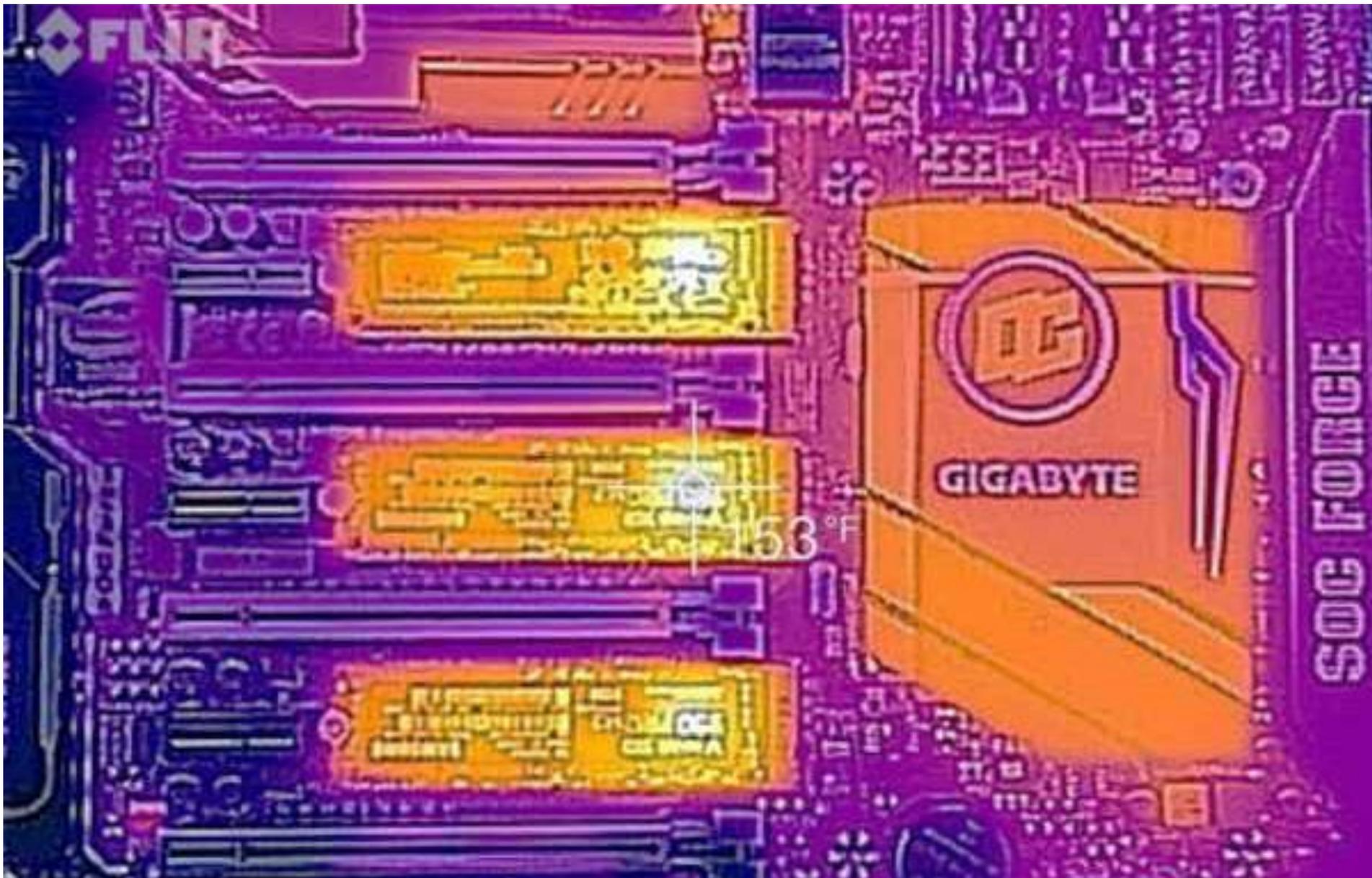
Пример распределения температуры на верхнем слое печатной платы показывает, что тепло накапливается на контроллере.

Нагрев SSD

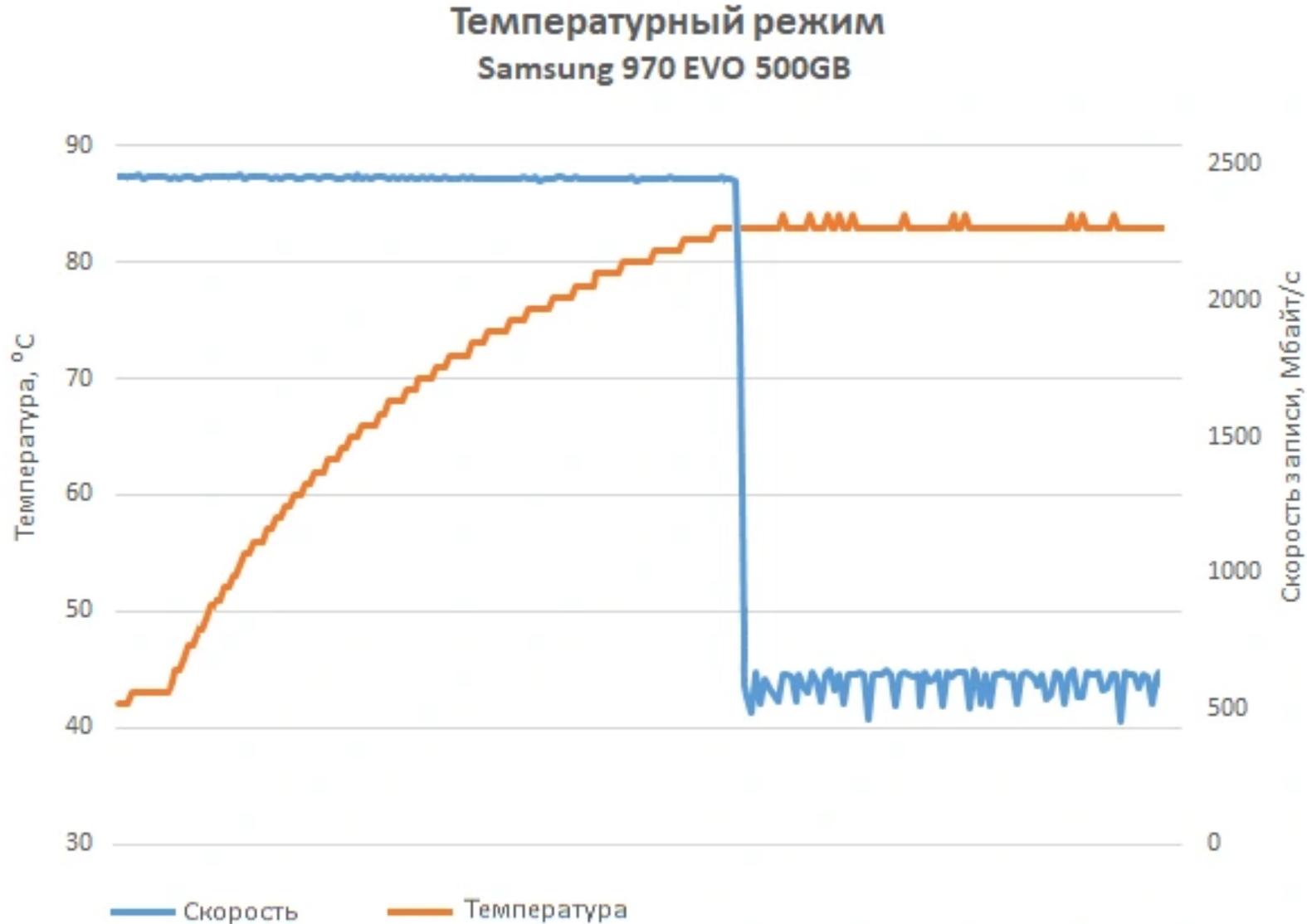


Нормальная температура твердотельного накопителя в компьютере — от 40 до 80 градусов.

Нагрев SSD

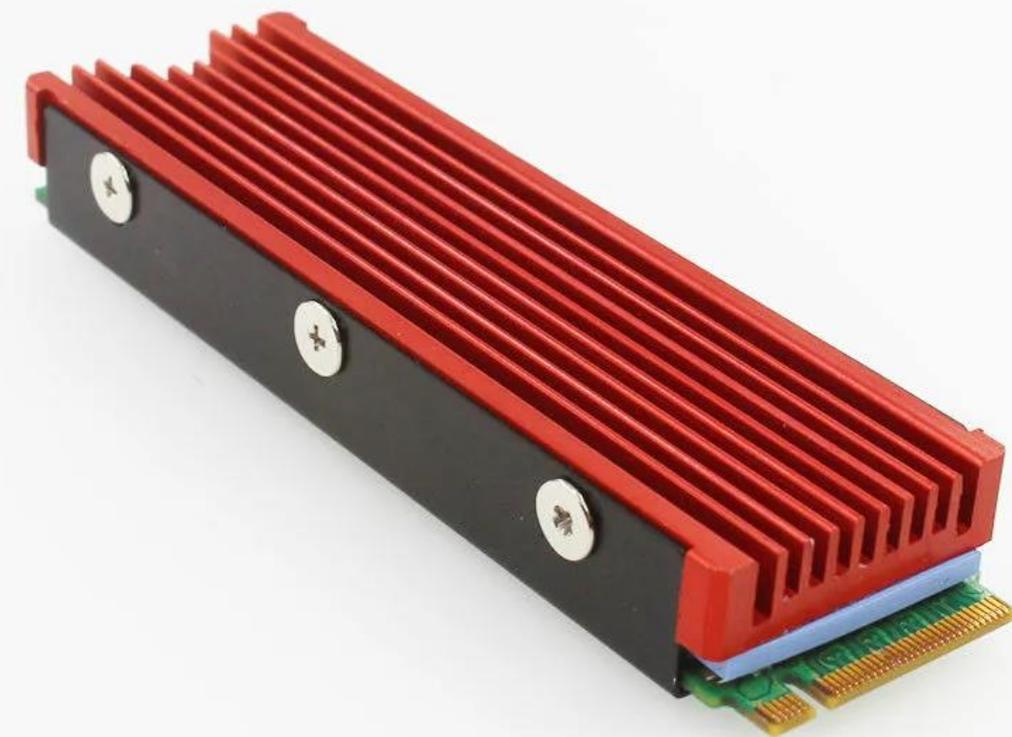
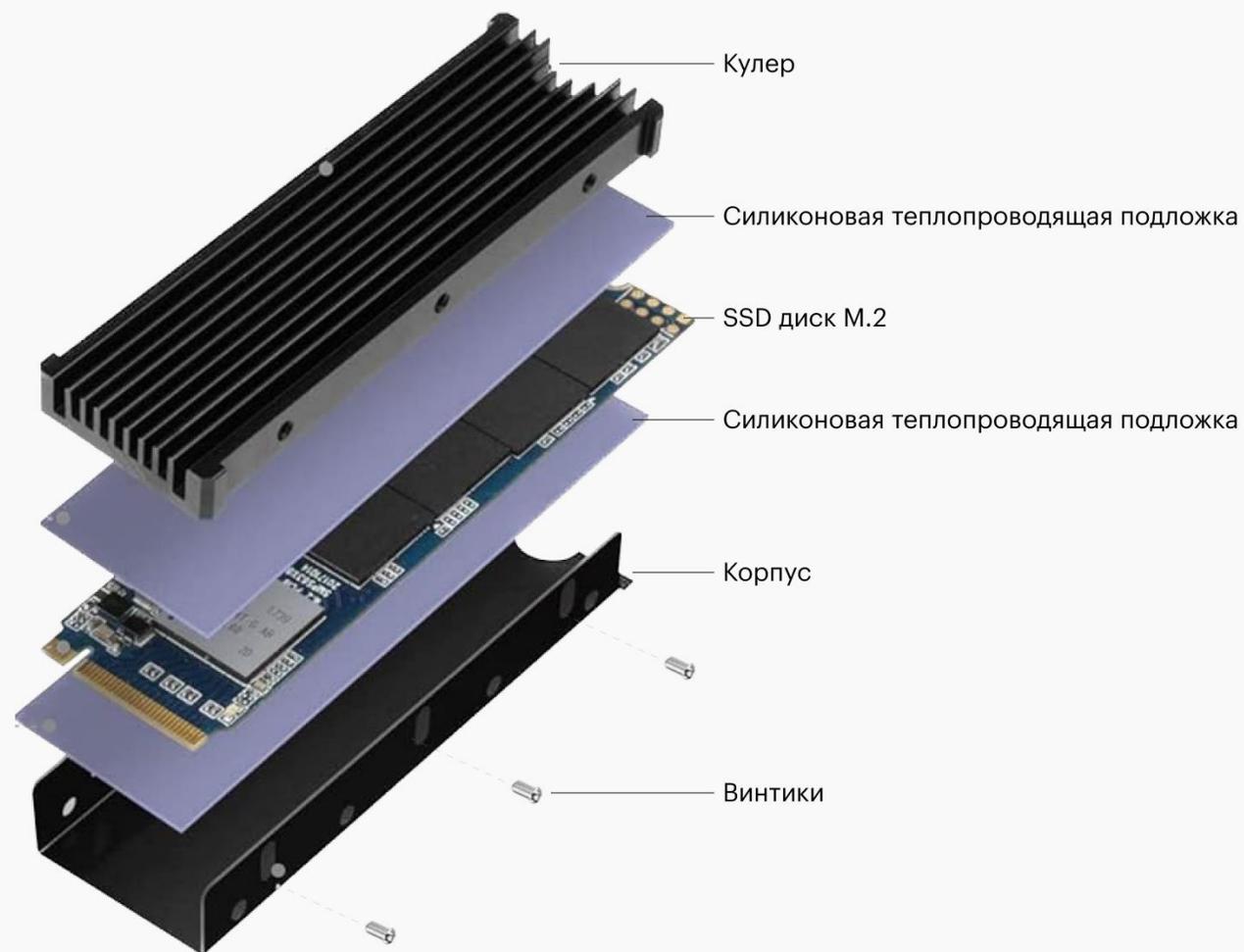


Влияние нагрева на скорость передачи данных



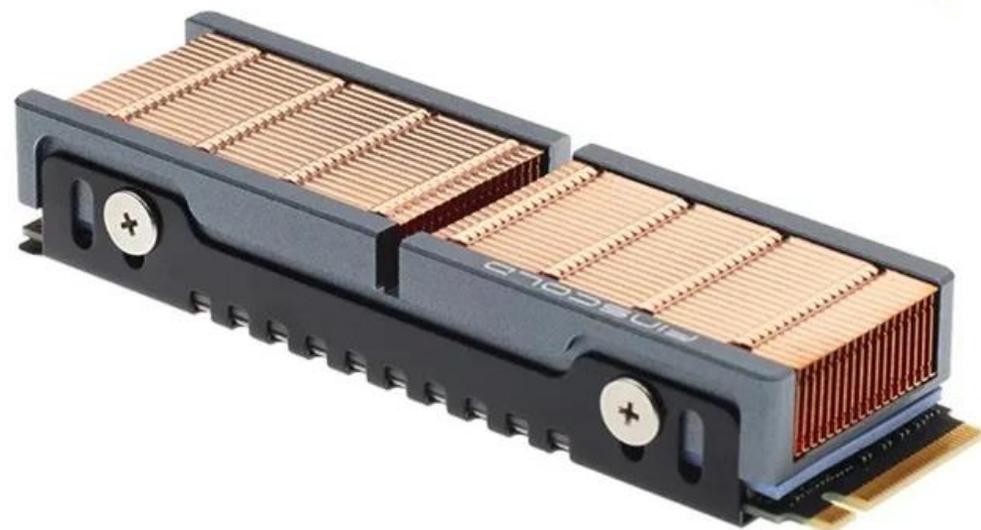
Радиатор на SSD

Из чего состоит обычный бюджетный радиатор



↓ 10-25 °C

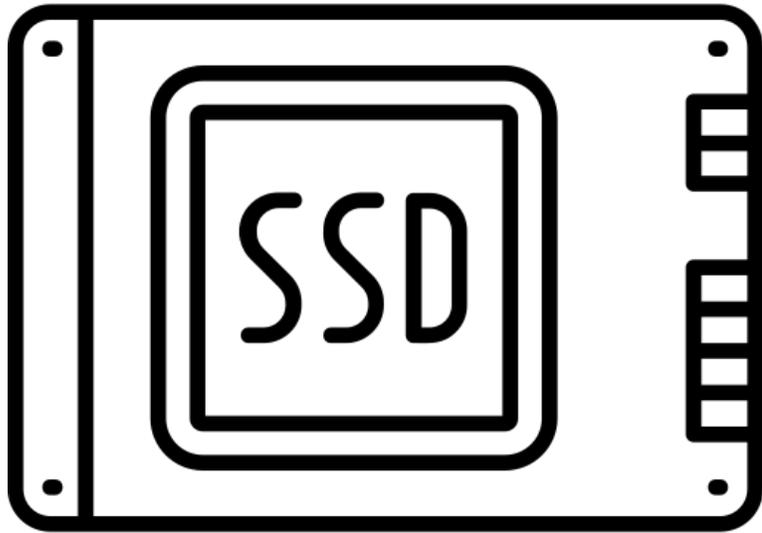
Радиатор на SSD



Радиатор на SSD



Montagebeispiel
(example of installation)

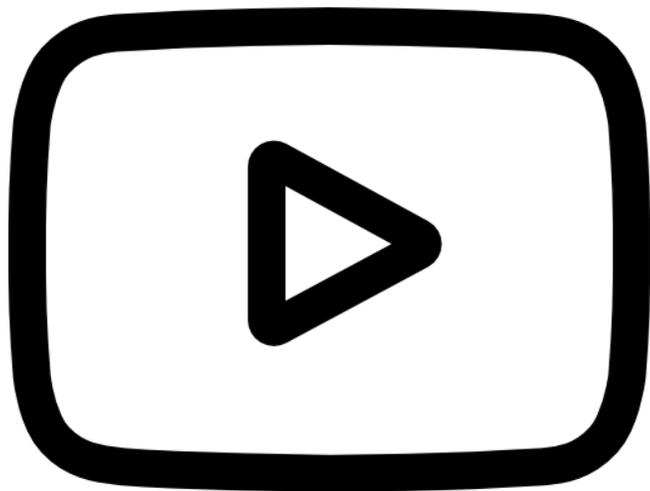


Характеристики (параметры) SSD



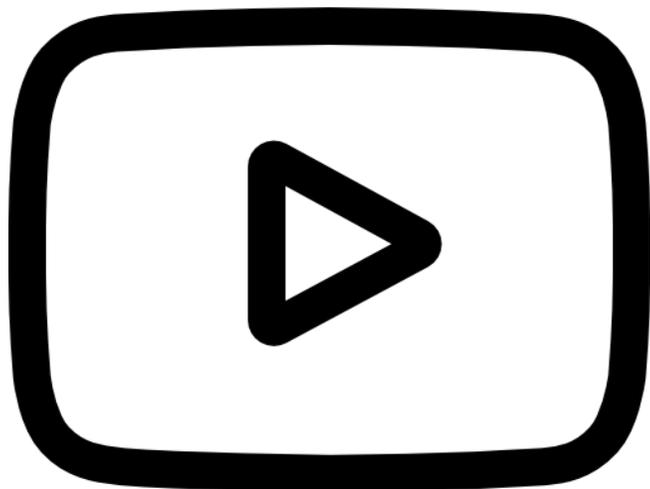
Характеристики (параметры) SSD

- **1 Форматированная емкость** (Formatted Capacity) – ГБайт, ТБайт
- **2 Форм-фактор**
- **3 Интерфейс подключения**
- **4 Контроллер** (тип)
- **5 Тип памяти**
- **6 Скорость записи** – МБ/с
- **7 Скорость чтения** – МБ/с
- **8 Ударостойкость при работе** – 1500 G
- **9 Время наработки на отказ** – 1.750.000 час., TBW 100 ТБ
- **10 Максимальная рабочая температура** – 70° C
- **11 Гарантия производителя** – 5 лет
- **12 Размеры** (ШхГхТ)



**Дополнительные
материалы по
теме на YouTube**



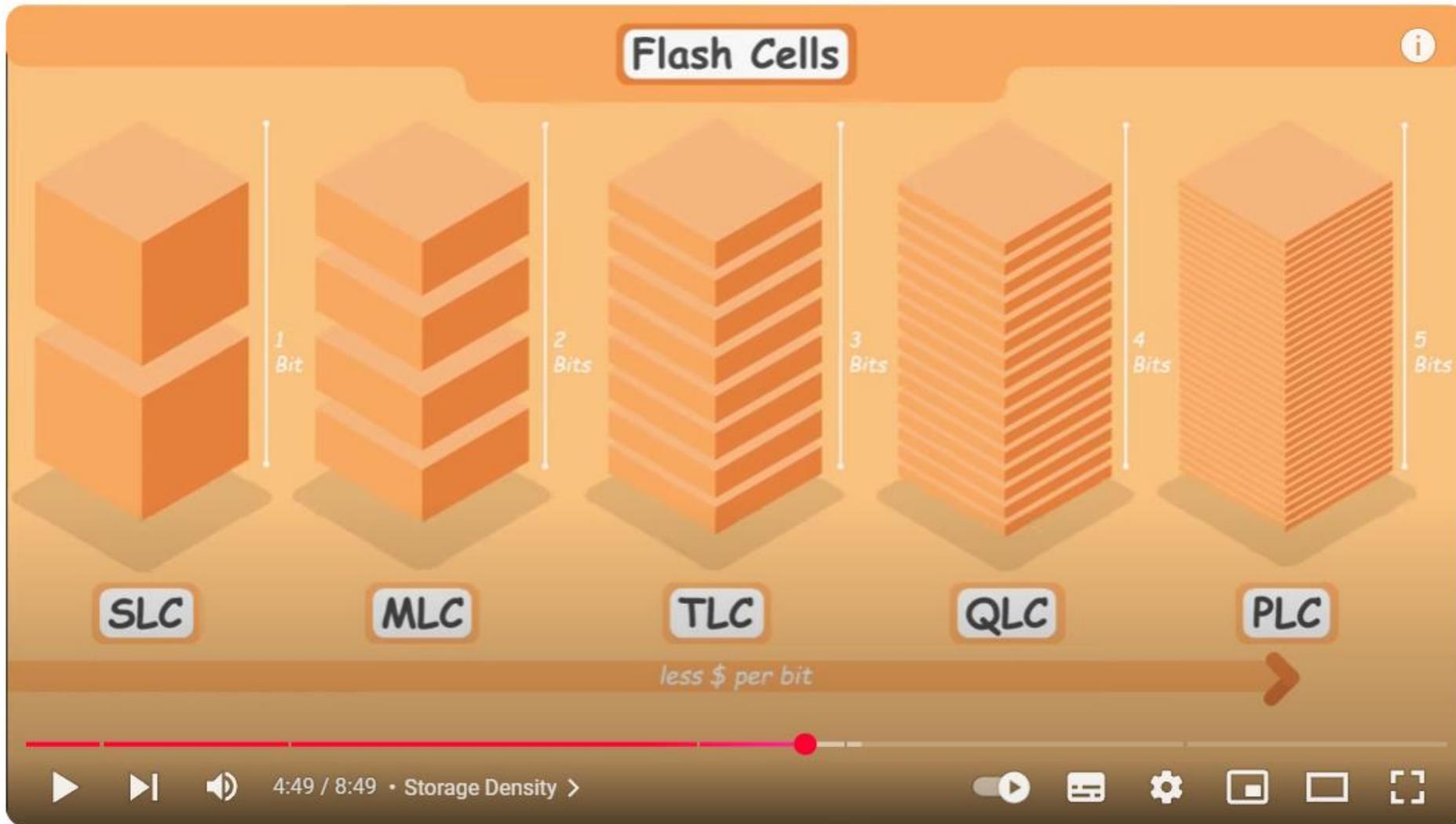


Принцип действия Flash-памяти
Как работает полупроводниковая
память?
Как работают твердотельные
накопители?





Как работает полупроводниковая ПАМЯТЬ? Развитие от перфокарт до SSD.(2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=rIWMXk2peR8>



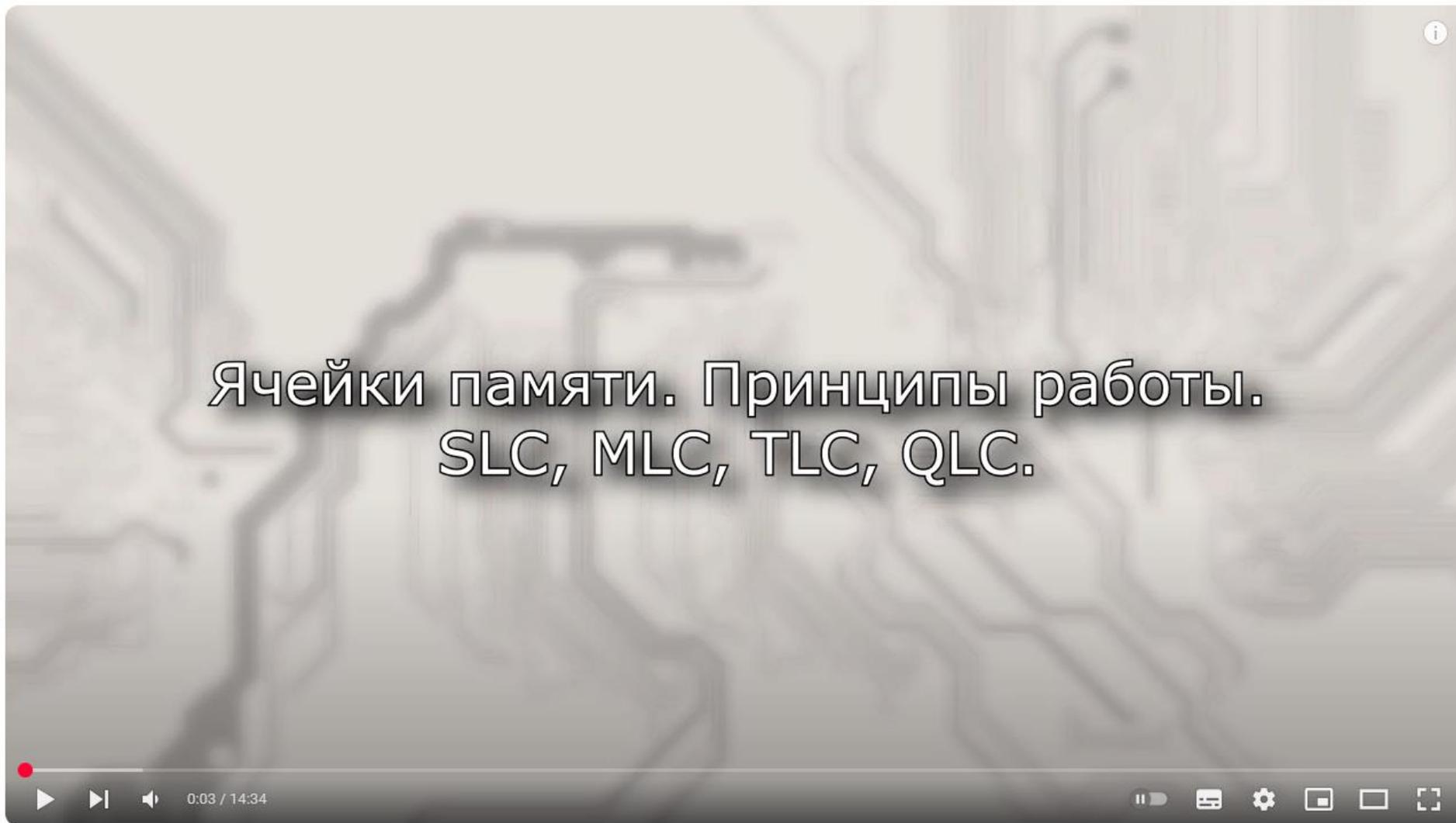
How Does Flash Memory Work? (SSD) (2020)
Как работает флэш-память? (SSD) (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=r2KaVfSH884>



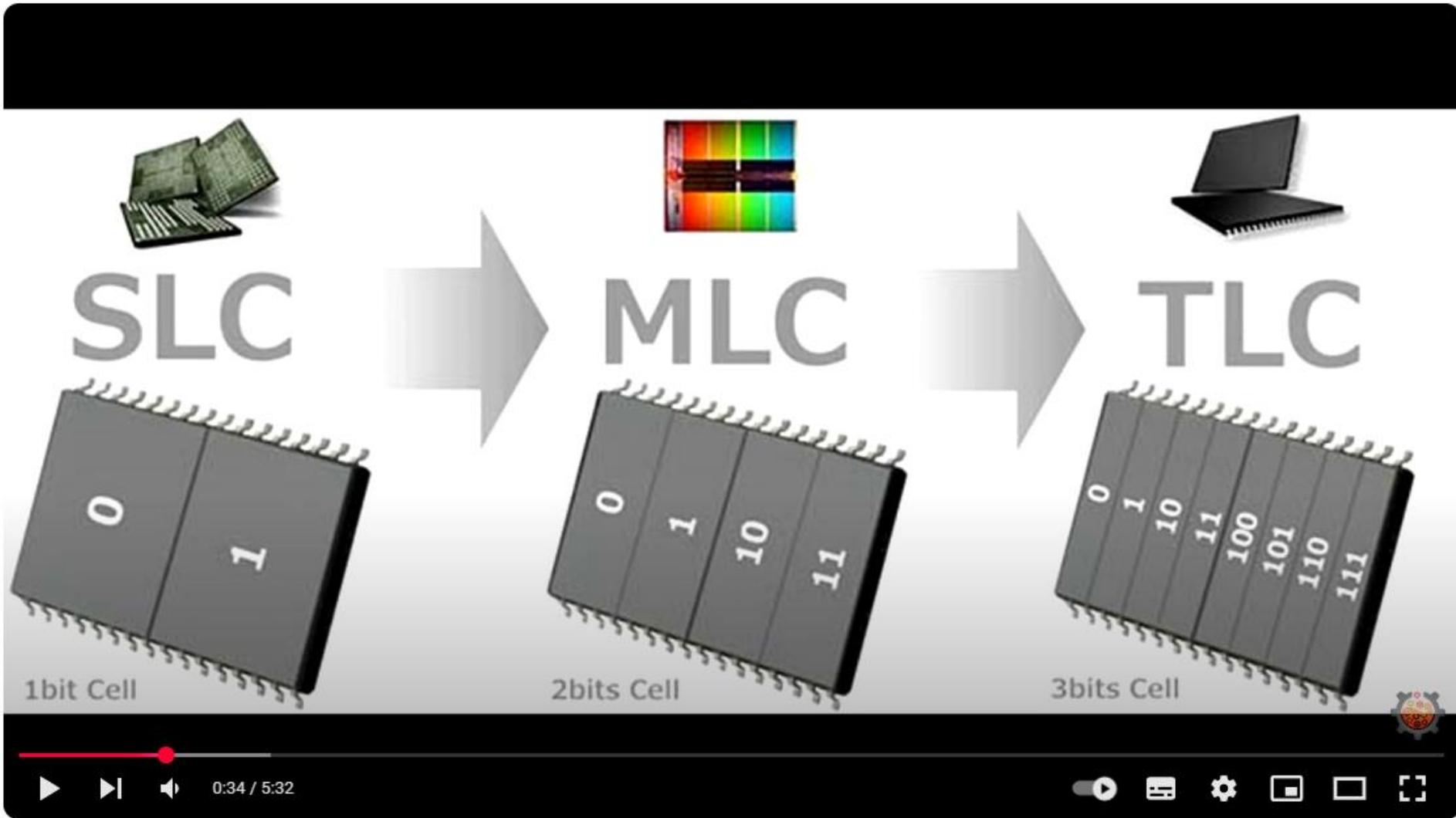
Как работает флэш память (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=1f9aPI1Z4x4>



Сколько Живёт SSD? SLC, MLC, TLC и QLC Флеш Память (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=NMqm0oYojec>

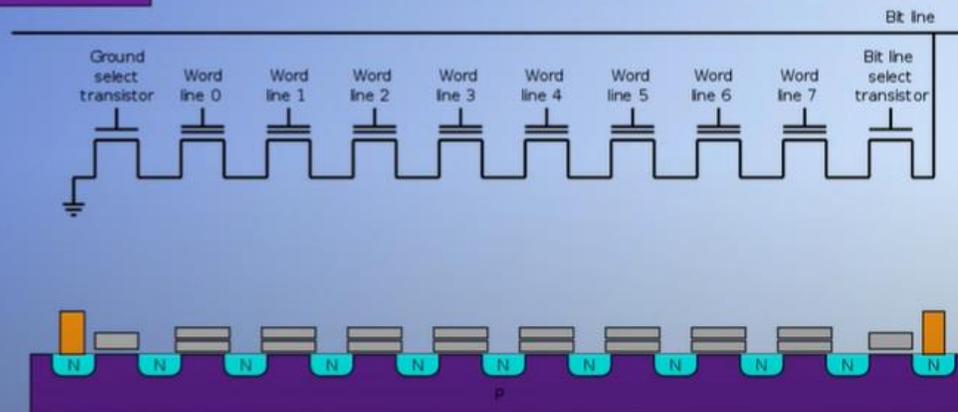
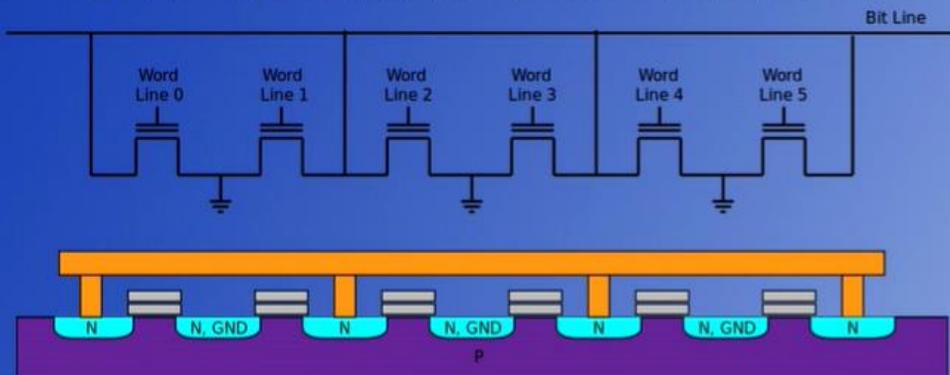


SSD. Как работают, почему ломаются? SLC, MLC, TLC, QLC (2021)
https://www.youtube.com/watch?v=7onkTUts_-w



Выбор SSD, памяти SSD накопителя TLC или 3D V NAND, контроллер (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bz7qUUC3eD4>

6 ячеек NOR Flash



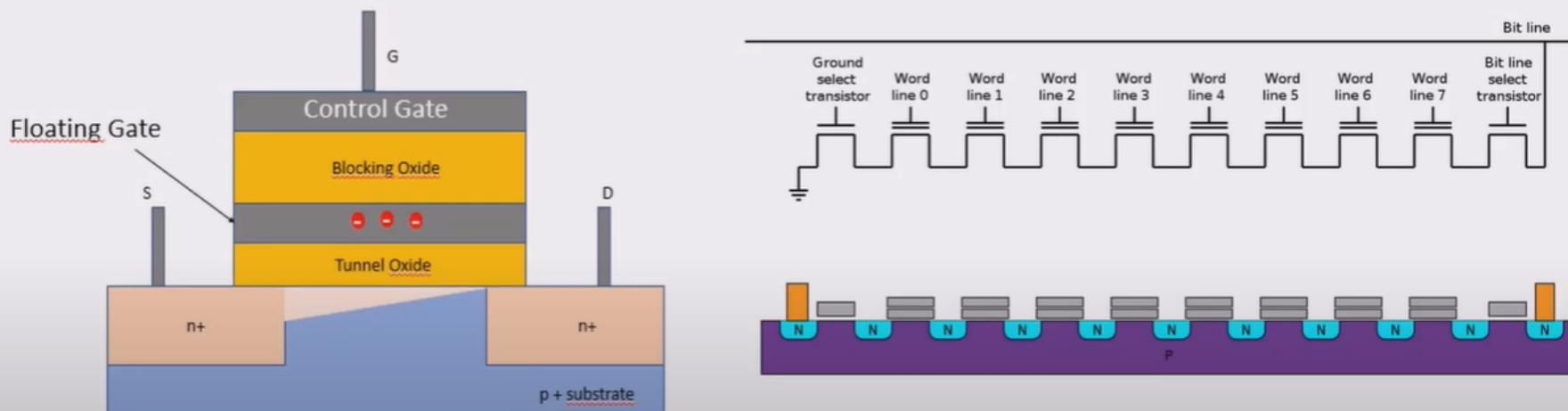
1 столбец и 8 ячеек NAND Flash

Компьютерная Память: История Изобретения Flash Памяти (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=-IHUviW-bEc>



Как работает флэш-память NAND? Чтение из TLC: ячейки трехуровневого типа || Изучение твердотельных накопителей (2020)
How does NAND Flash Work? Reading from TLC : Triple Level Cells || Exploring Solid State Drives (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=YtBysgPOKx4>

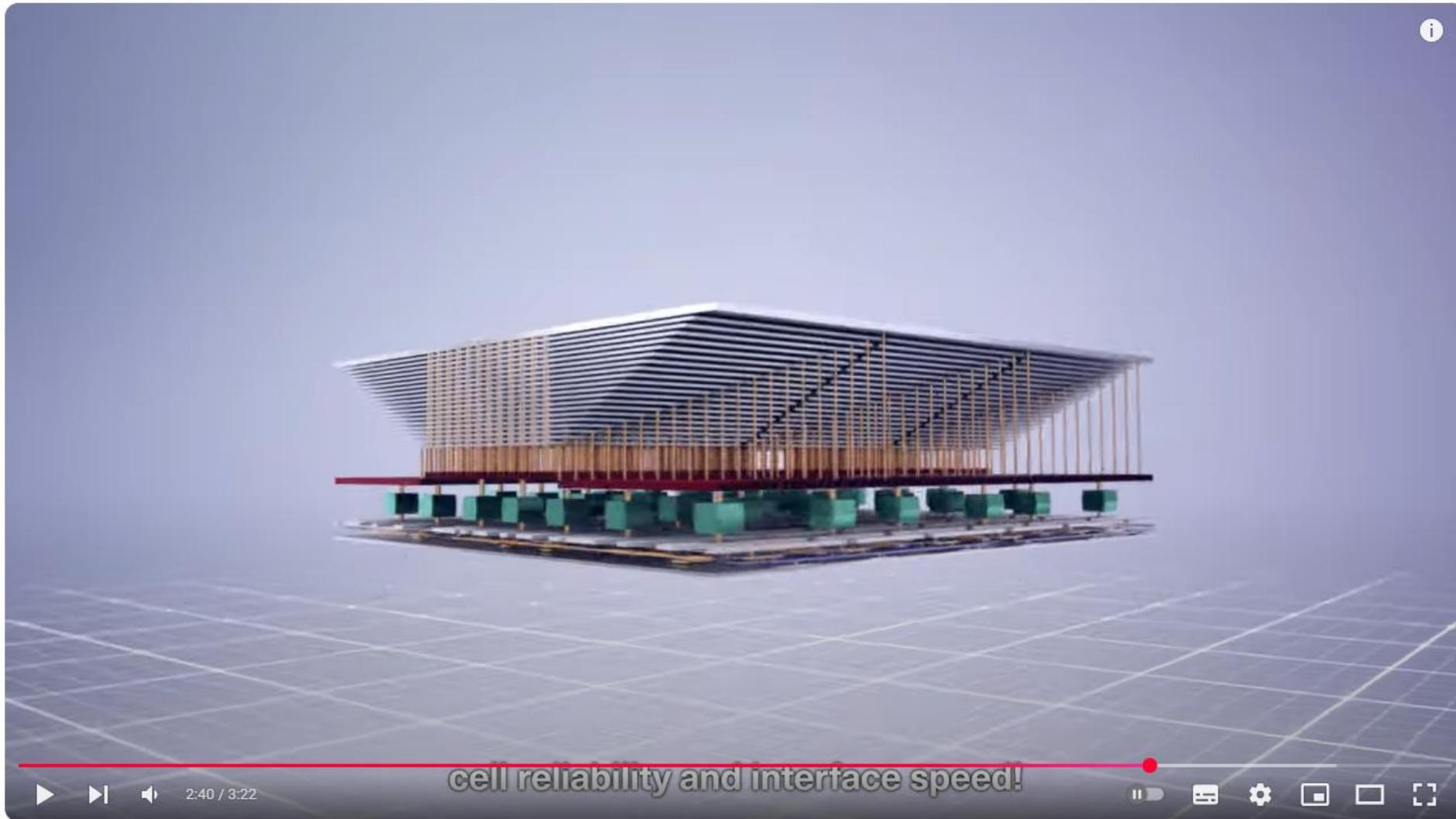
Flash memory and the NAND technology



How SSD and USB pendrive work



How flash memory works - SSDs and USB pendrives (2022)
Как работает флэш-память - твердотельные накопители и USB-накопители (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=b5BPcQUkHbl>



KIOXIA BiCS FLASH™ generation 8 3D flash memory makes the most of CBA technology
<https://www.youtube.com/watch?v=Vc-wG55KAsw>

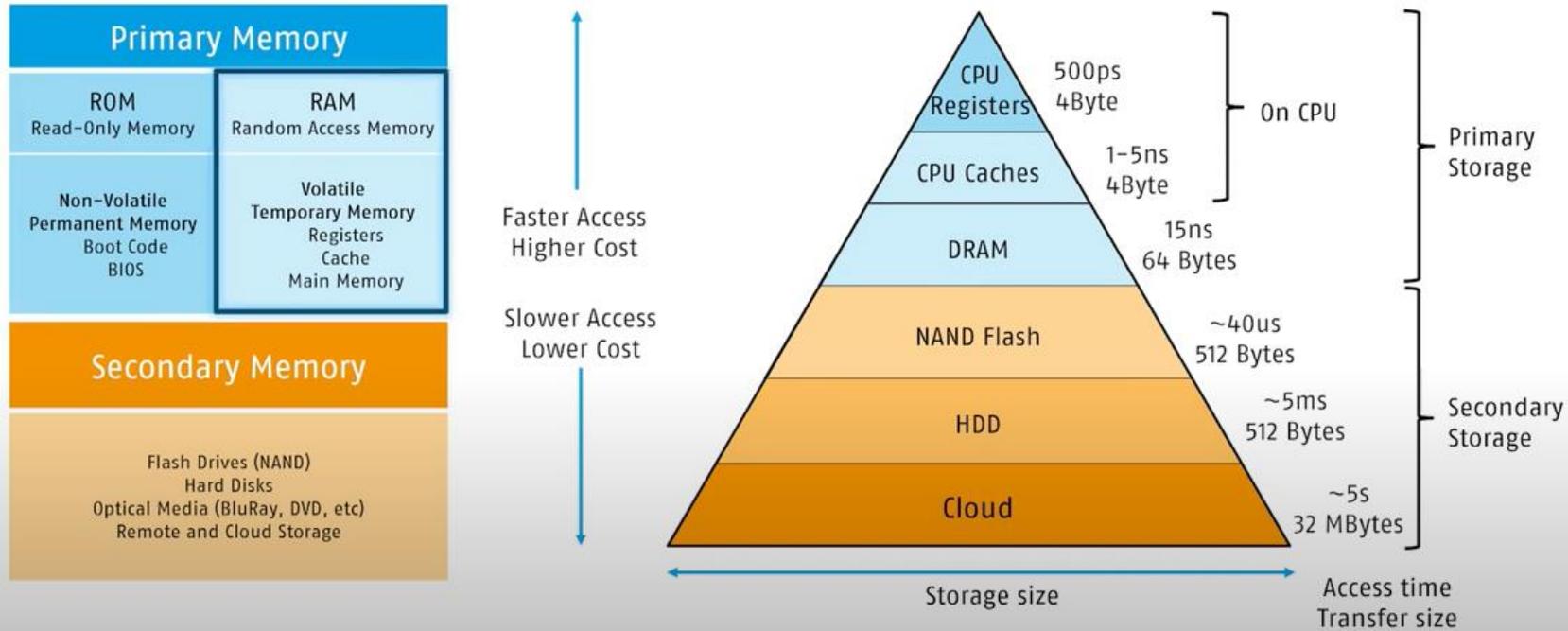
YouTube 5:15

The diagram illustrates the electrical structure of a NAND flash cell. It shows a series of transistors connected to a common Bit Line. The transistors are labeled as Ground Select Transistor, Word Line 0 through Word Line 7, and Bit Line Select Transistor. The 3D cross-section below shows the physical layout of these components on a substrate, with 'N' representing n-type regions and 'P' representing the p-type substrate.

"NAND FLASH STRUCTURE" BY WIKIPEDIA USER CYFERZ
 LICENSED UNDER CC BY-SA 3.0 VIA WIKIMEDIA COMMONS

1:03 / 5:15 • History of NAND >

3D NAND as Fast As Possible (2015)
<https://www.youtube.com/watch?v=FWV5z9qTUK8>



NAND Flash Technology | Swissbit Storage Basics 101 | NAND Flash Memory Basics Explained (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=iv4lZQ4E-Fc>



How Does Flash Memory Work? (SSD) (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=r2KaVfSH884>

STORAGE BASICS 101
NAND FLASH TECHNOLOGY

Storage Basics 101

Swissbit

Плейлист • 5 видео • 243 просмотра

▶ Воспроизвести в...

1

STORAGE BASICS 101
NAND FLASH TECHNOLOGY
5:19

NAND Flash Technology | Swissbit Storage Basics 101 | NAND Flash Memory Basics Explained

Swissbit • 10 месяцев назад • 2,7 тыс. просмотров

2

STORAGE BASICS 101
STORAGE SOLUTIONS
4:34

Storage Solutions Explained | Swissbit Storage Basics 101 | | NAND Flash Memory Basics Explained

Swissbit • 10 месяцев назад • 449 просмотров

3

STORAGE BASICS 101
CONTROLLER TECHNOLOGY
4:52

Flash Controller Basics | Swissbit Storage Basics 101 | | NAND Flash Memory Basics Explained

Swissbit • 10 месяцев назад • 1,1 тыс. просмотров

4

STORAGE BASICS 101
WHY SWISSBIT?
2:47

Security Solutions & Storage Products | Swissbit Storage Basics 101 | Why Swissbit

Swissbit • 9 месяцев назад • 252 просмотра

5

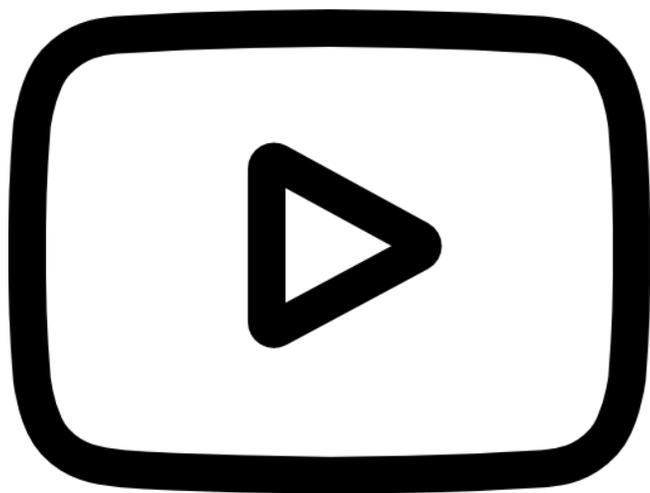
STORAGE BASICS 101
IMPACTS ON DATA QUALITY & PERFORMANCE
6:06

Impacts on Data Quality and Performance | Swissbit Storage Basics 101 | NAND Flash Memory Basics

Swissbit • 9 месяцев назад • 201 просмотр

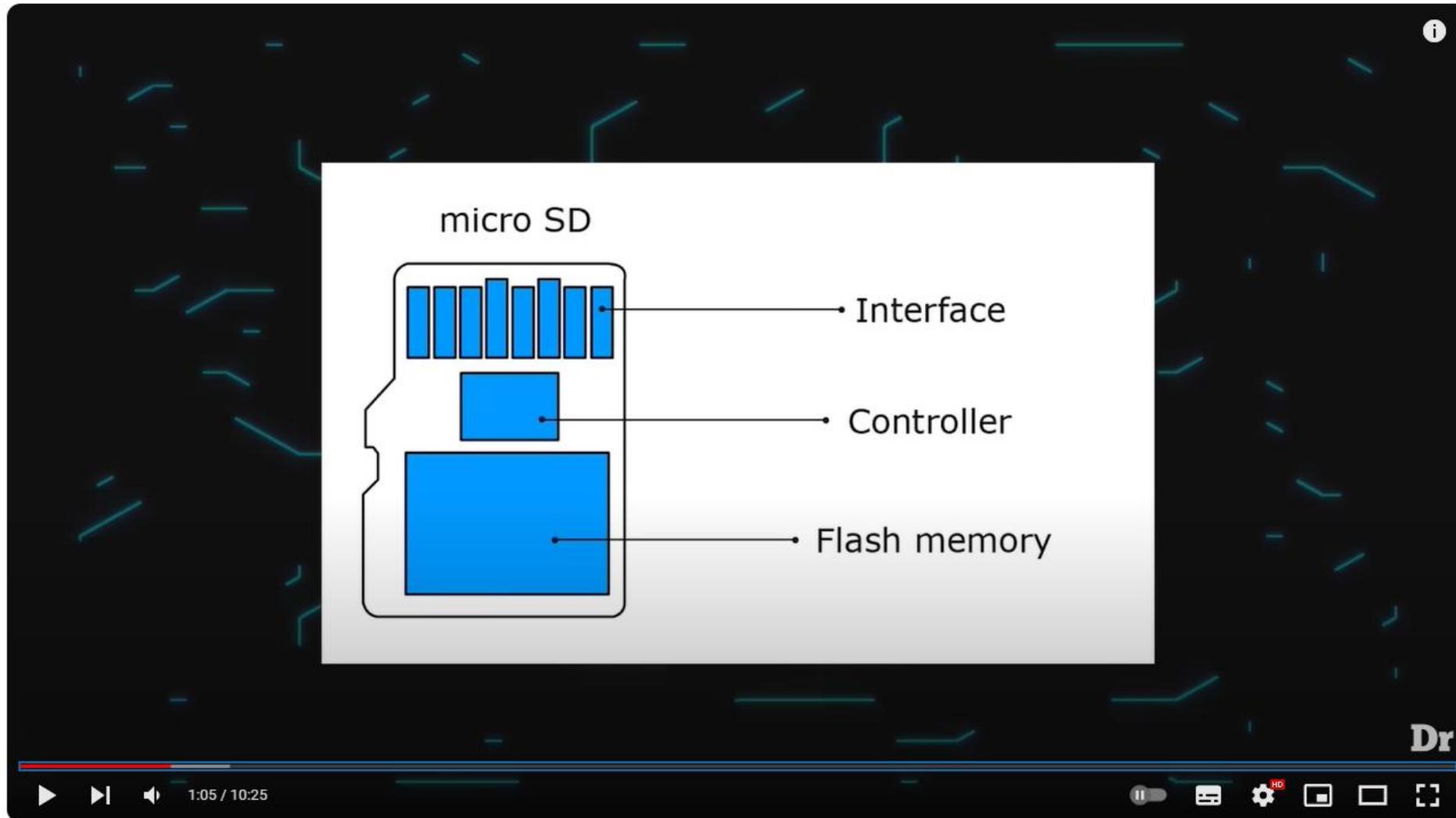
Storage Basics 101

https://www.youtube.com/playlist?list=PLGzbk9LMrZ342BDCKHLFH_Zv5m897_hgG



Карты памяти (flash-карты)





КАК в MicroSD помещается 1 ТЕРАБАЙТ?
https://www.youtube.com/watch?v=y4Vg6_Yb9g8



Как выбрать КАРТУ ПАМЯТИ? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=b4l-uxHGВac>



Тест карт памяти: проверяем на практике класс скорости, соответствуют ли результаты? Что такое UHS? (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=bj4WvsA4LC4>



КАК в MicroSD КАРТУ ПОМЕСТИЛОСЬ 1 ТБ | ЭВОЛЮЦИЯ КАРТЫ ПАМЯТИ (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=pNVvNBbJqC8>



Как выбрать карту памяти для фотоаппарата? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=t0GLVgVpmH4>

YouTube 8:02

The screenshot shows a video frame with two SD cards and a performance table. On the left is a Lexar 633x 64GB microSD V30 A1 A2 card. On the right is a SanDisk Extreme 1TB microSD V30 A2 card. Below them is a table with performance metrics for A1 and A2 classes.

Класс	Случайное чтение, IOPS	Случайная запись, IOPS
A1	1500	500
A2	4000	2000

Что значат надписи на карте памяти? Как выбрать правильную SD карту? Цифры и символы на СД карте (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=rmi2qjMtMzQ>

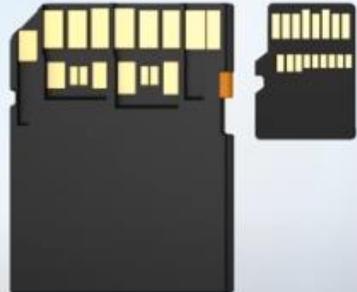
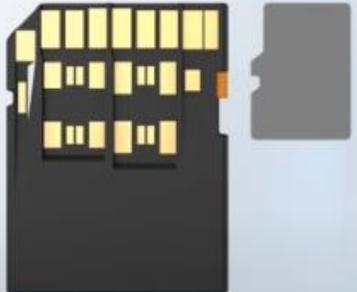
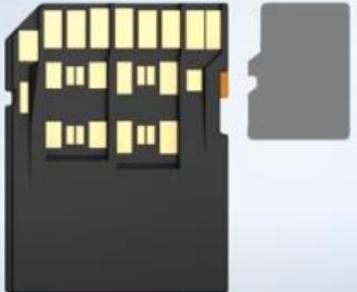
The screenshot displays a YouTube video of an AliExpress product page for Samsung 64GB EVO Plus microSD cards. The video player at the bottom shows a progress bar at 2:18 / 17:21. The product page features the Samsung logo, a product image of the card and its SD adapter, and a price of US \$9.69 (originally \$19.00, a 49% discount). The page also shows a star rating of 5 stars from 11 reviews, a quantity selector set to 1, and buttons for 'Купить сейчас' (Buy now) and 'Добавить в корзину' (Add to cart). The video player includes standard controls like play, volume, and full screen.

КАКИЕ MICRO SD КАРТЫ РАБОТАЮТ ГОДАМИ И ИХ ИСПОЛЬЗУЕТ TECHNOZON.
 ЛИЧНЫЙ ОПЫТ (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=hQOCDTPGAxw>



Малютка на 1.5 Терабайта - карта памяти microSDXC Smartbuy 1.5TB PRO (SB1T5SDP01) (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=OVZANUtO6ds>

SD Express Bus Interfaces

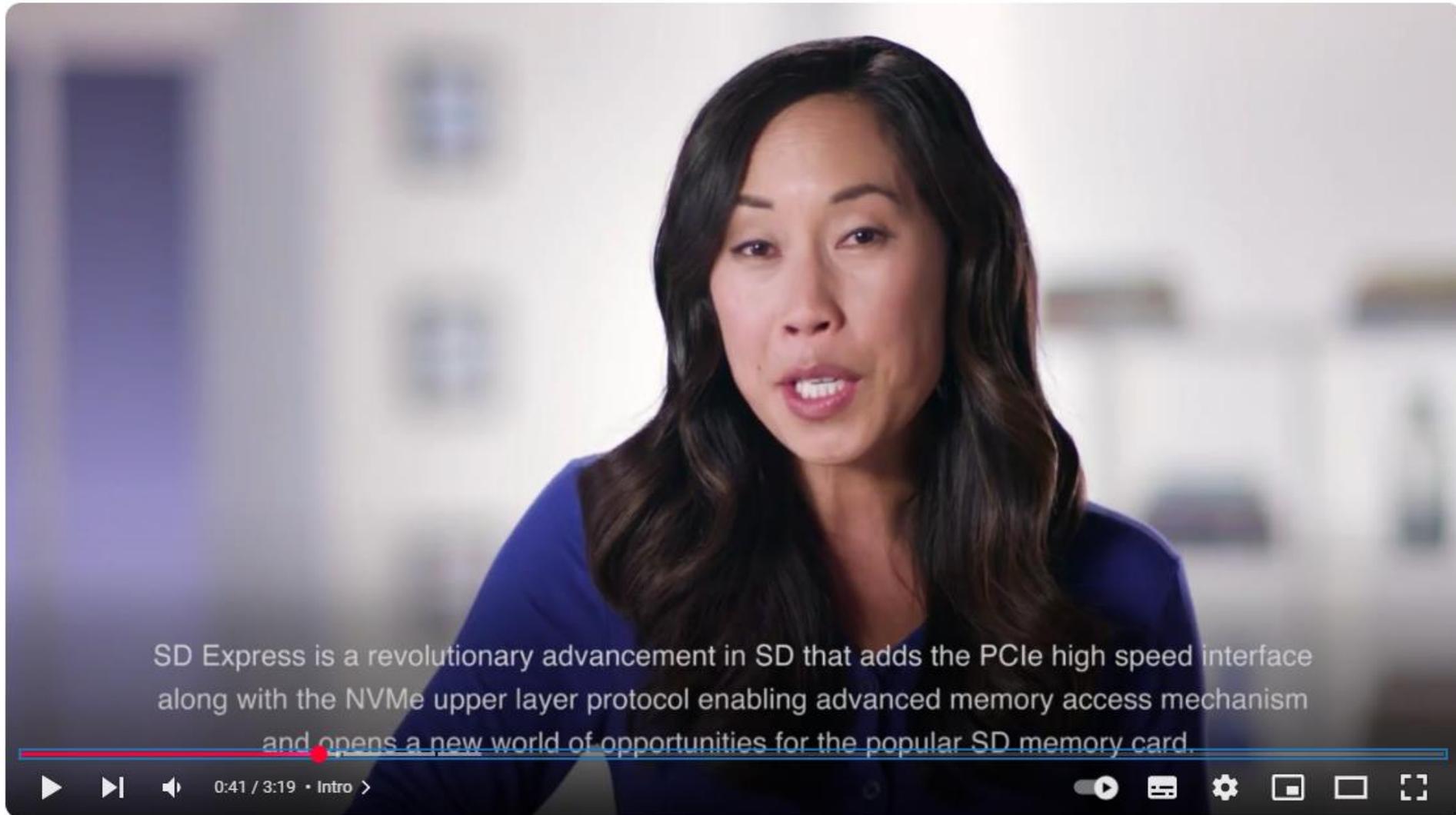
SD Express PCIe Gen.3×1 (SD7.0)	SD Express PCIe Gen.3×2 (SD7.1)	SD Express PCIe Gen.4×1 (SD8.0)	SD Express PCIe Gen.4×2 (SD8.1)
			
985MB/s	1,970MB/s [No micro card]	1,970MB/s	3,940MB/s [No micro card]

8:14 / 16:47 • Bus Interfaces >

Explaining SD Cards: 2025 Update (2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=HtgIHfqQiC8>



Классы скорости SD Express и инновации SD 9.1 (2024)
SD Express Speed Classes and SD 9.1 Innovations (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=VWnGNhgOgqq>

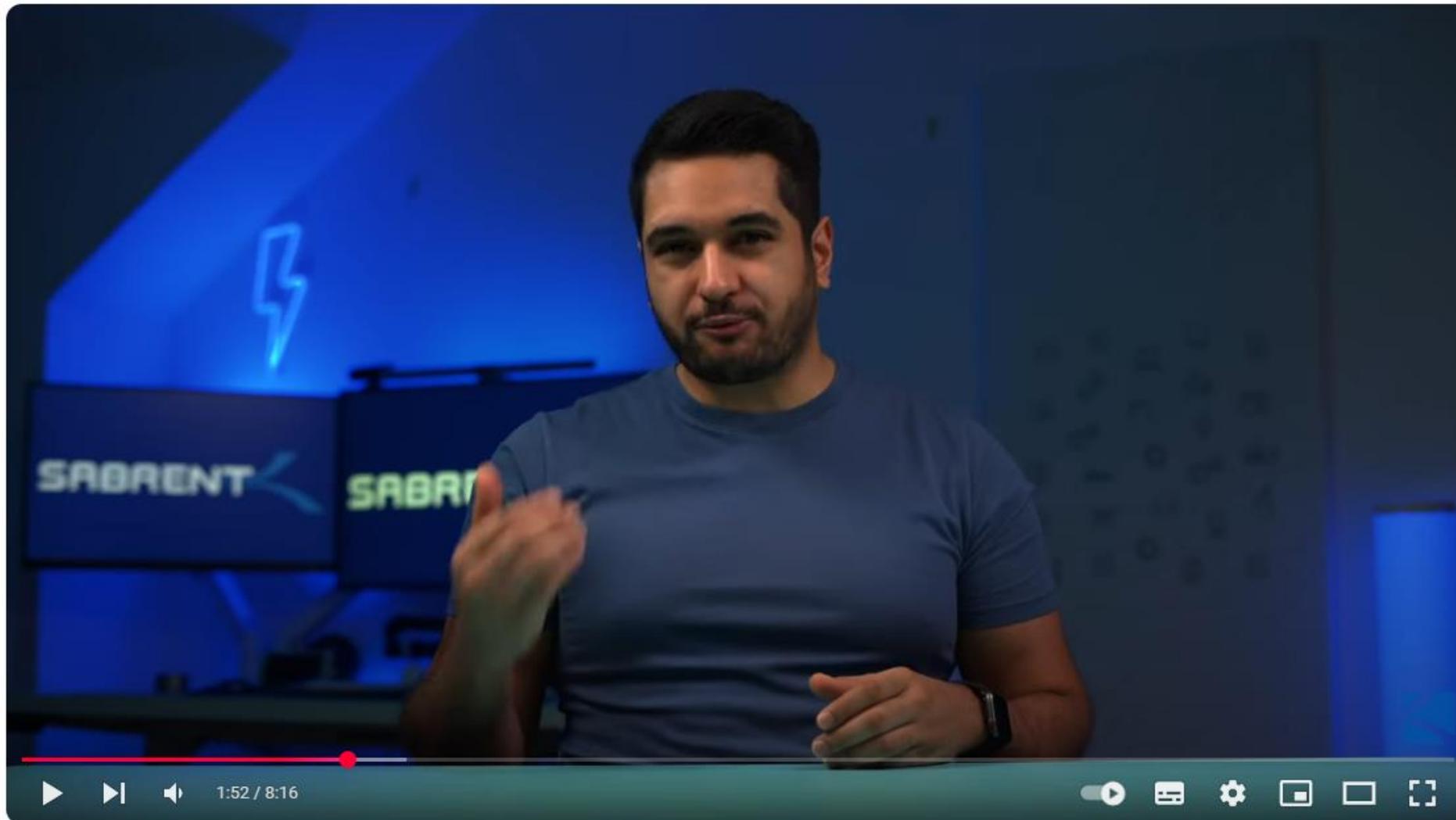


microSD Express и SD Express - Революционная инновация для карт памяти SD (2019)
microSD Express & SD Express - Revolutionary Innovation for SD Memory Cards (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=YnYsgOlbL7U>



Как 2 ТБ помещается на microSD? (2024)
How does 2TB fit in a microSD? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=4dtD8ZL4YNo>

YouTube 8:16



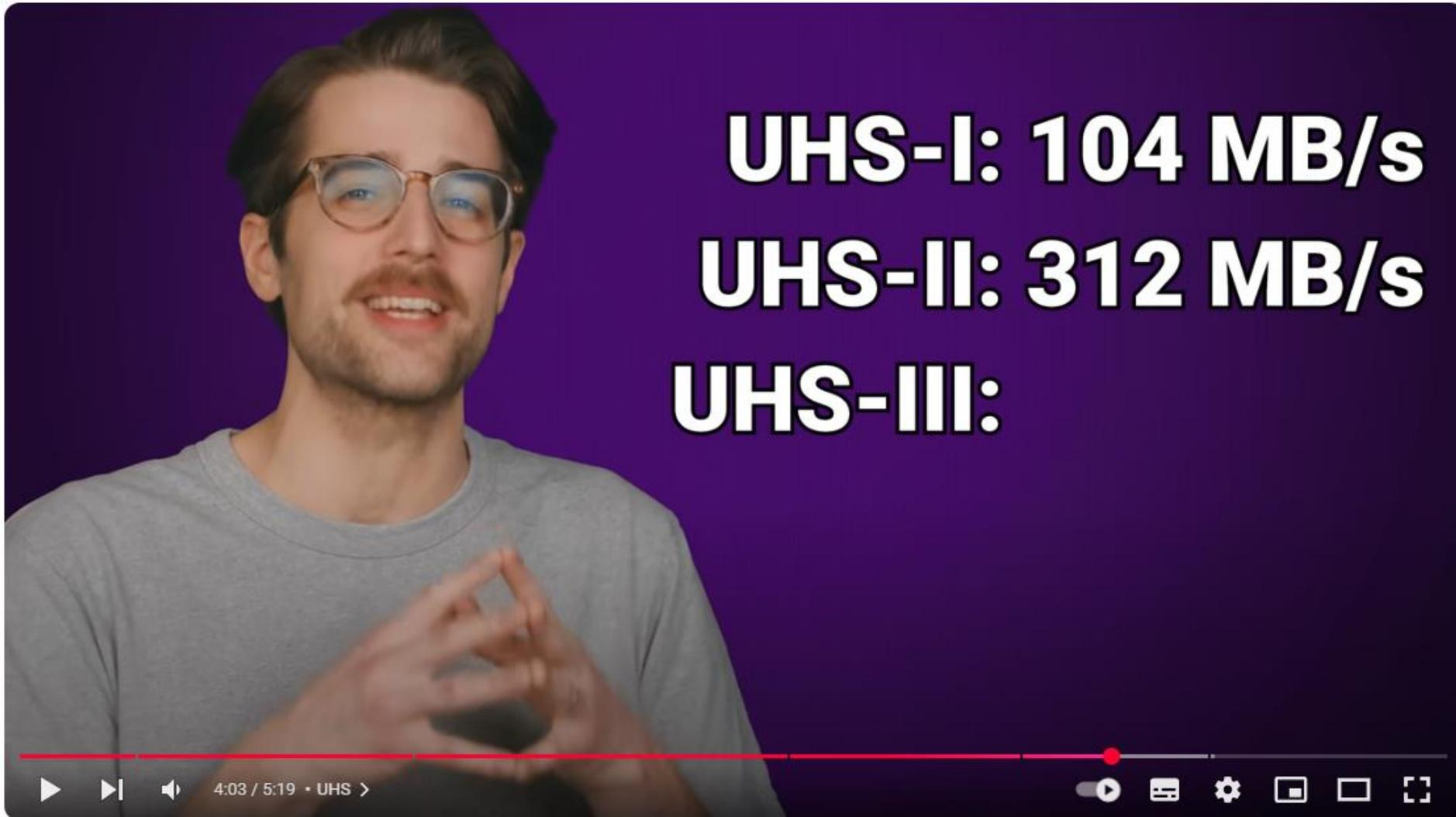
UHS I vs UHS II SD Cards | Explained! (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=pHA8MxfTcV8>



Объяснены SD-карты V30, V60, V90 | Знайте различия! (2022)
V30, V60, V90 SD Cards Explained | Know The Differences! (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=aOS3ouZ5K84>



Какие SD-карты купить (2023)
Which SD Cards To Buy | DON'T WASTE YOUR MONEY (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=9bT1wcTJfJQ>



Сбивающие с толку символы на SD-картах (2023)
Confusing Symbols on SD Cards (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bw89C41NY7U>



Карты microSD работают быстрее с адаптерами или без них? (2015)
Are MicroSD cards faster with or without adapters? (2015)
<https://www.youtube.com/watch?v=bqRq6ASkfJI>



Тест скорости работы карты microSD | Маркетинг против Реальность (2017)
MicroSD Card Speed Test | Marketing vs. Reality (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=lAsHs0Aidt0>



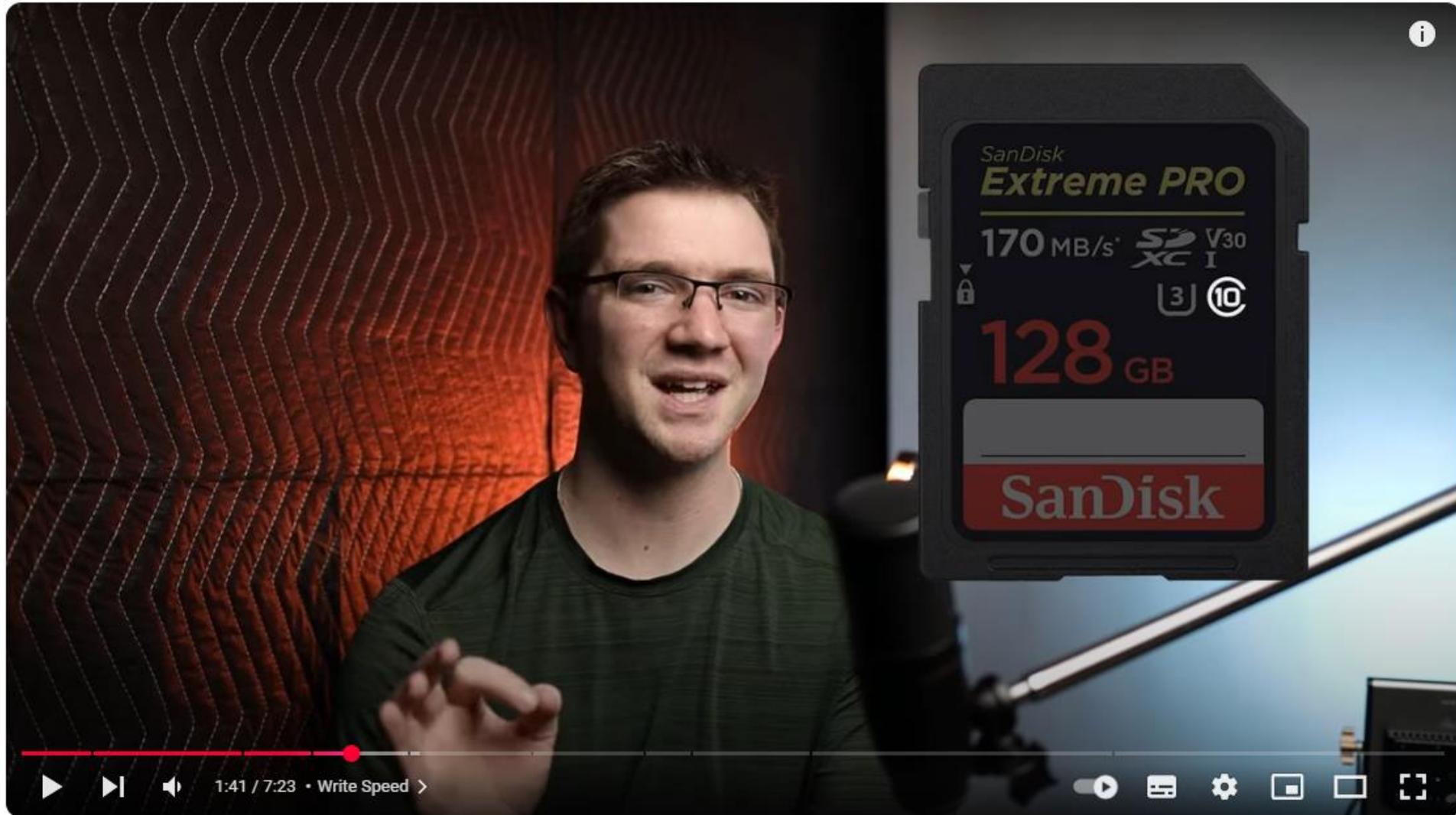
Карты памяти: Как выбрать лучшую (2016)
Memory cards: How to choose the best one (2016)
<https://www.youtube.com/watch?v=Uh9h2yZnUNQ>



Выбор лучшей SD-карты для видео - понимание всех цифр и символов на SD-картах памяти (2018)
Choosing the Best SD Card for Video – Understanding All the Numbers and Symbols on SD Memory Cards (2018)
https://www.youtube.com/watch?v=ZmVir_BbITA



Как выбрать ЛУЧШУЮ SD-карту для ВАШЕЙ камеры, не переплачивая (2024)
How to Choose the BEST SD Card For YOUR Camera Without Overpaying (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=Eez2Gv6WQnk>



Simple Guide To SD Cards | Canon, Sony & More (2022)

<https://www.youtube.com/watch?v=TsPlrBXWpFQ>



SD and microSD Card Specification Labels Explained – DIY in 5 Ep 141 (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=g5PkExucy4I>

PowerPoint Slide Show - Introducing SD 9 Webinar_Public_final - PowerPoint

SD Card Specifications Evolution

SD Association

- SD Association was formed in 2000
- Develop and promote removable memory cards – SD and microSD
- ~780 members

Year	Specification / Feature	Version
2000	SD Card Introduced	
2004	High Speed mode of 25MB/s	(SD Ver. 1.10)
2005	microSD Introduced	(SD Ver. 1.20)
2006	SDHC Introduced	(SD Ver. 2.00)
2009/10	UHS-I mode 104MB/s, SDXC	(SD Ver. 3.00/3.01)
2011	UHS-II mode 312MB/s	(SD Ver. 4.00)
2017	UHS-III mode 624MB/s, Command Queue Low Voltage	(SD Ver. 6.00)
2018/19	SD Express & microSD Express (PCIe*3/NVMe™) 985MB/s, SDUC	(SD Ver. 7.00/7.10)
2020	SD Express w/PCIe4x2 ~4GB/s	(SD Ver. 8.00)
2022	Boot/TCG/IRPMB	(SD Ver. 9.00)

>6 Billion SD & microSD cards sold by 2021*. SD is the de-facto worldwide removable memory card standard

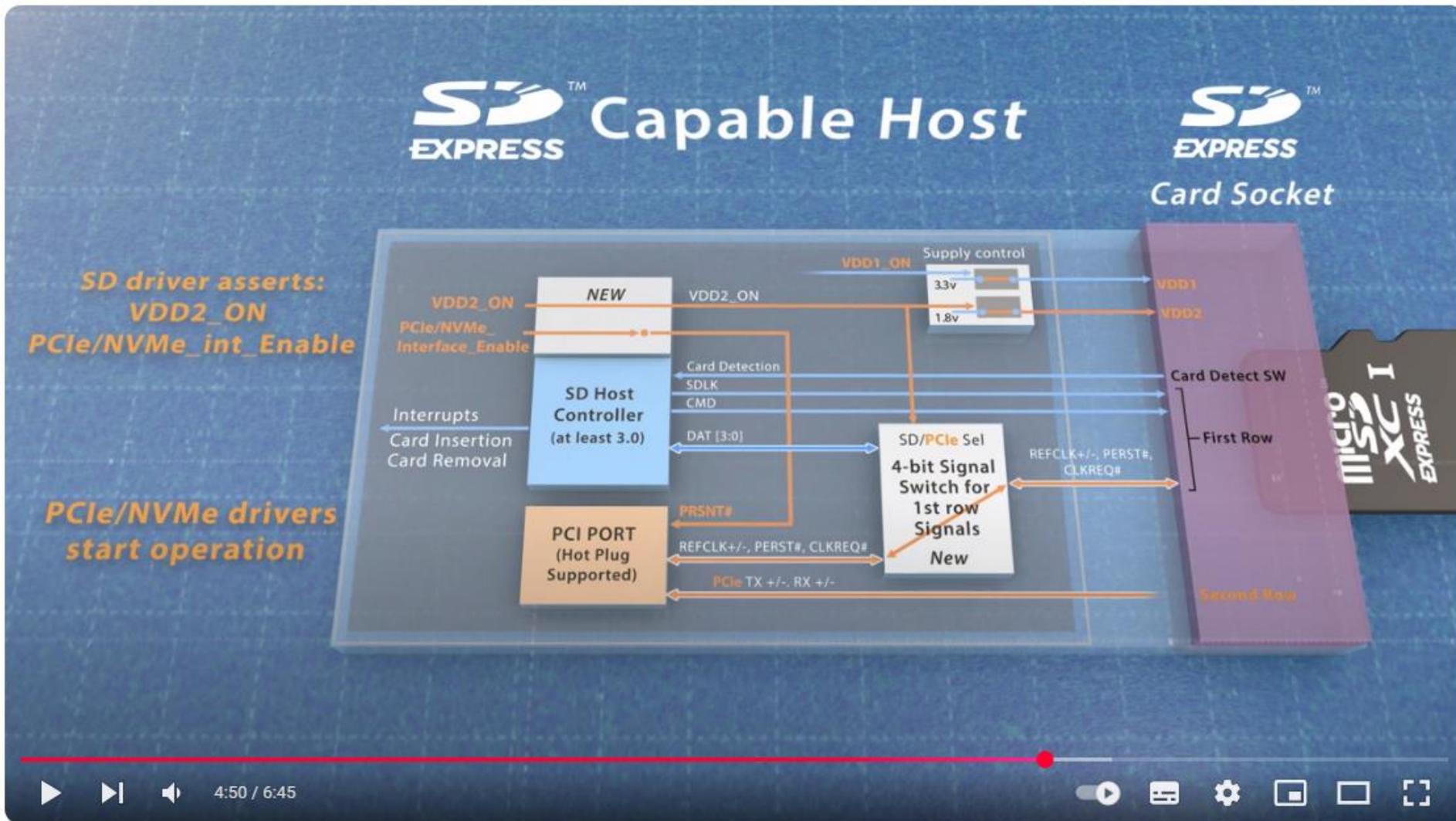
To join: <https://www.sdcard.org/join/>

©SD Association. SD, microSD and related marks and logos are trademarks of SD-3C LLC. © SD-3C LLC. All Rights Reserved.

Slide 36 | 5:27 / 57:11 • SD Card Specifications Evolution >

Introduction to SD Specification 9 (2022)

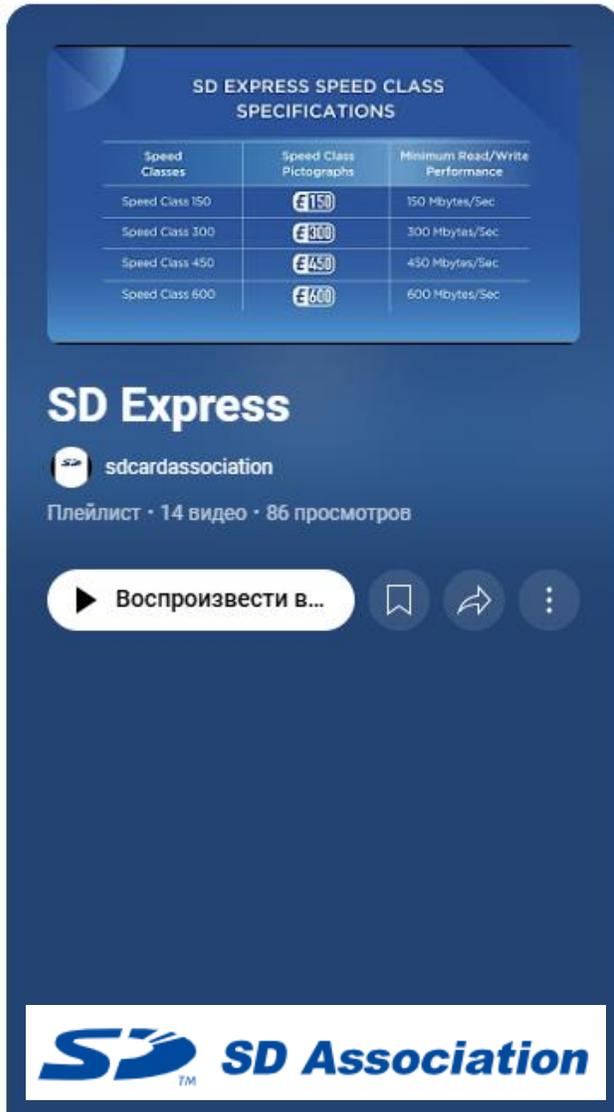
<https://www.youtube.com/watch?v=fuGinxS0c2E&list=PLZ8Cue8CNJNeNR4vhNYvN3Pjo7fz82HwN&index=2>



How to Implement SD Express into Your Products (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=2msX9gocJv4>



Full video - Data recovery from a dead MicroSD card (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=oW6smFTPDZs>



SD EXPRESS SPEED CLASS SPECIFICATIONS

Speed Classes	Speed Class Pictographs	Minimum Read/Write Performance
Speed Class 150		150 Mbytes/Sec
Speed Class 300		300 Mbytes/Sec
Speed Class 450		450 Mbytes/Sec
Speed Class 600		600 Mbytes/Sec

SD Express
 sdcassociation
 Плейлист · 14 видео · 86 просмотров

▶ Воспроизвести в...

1



SD EXPRESS SPEED CLASS SPECIFICATIONS

Speed Classes	Speed Class Pictographs	Minimum Read/Write Performance
Speed Class 150		150 Mbytes/Sec
Speed Class 300		300 Mbytes/Sec
Speed Class 450		450 Mbytes/Sec
Speed Class 600		600 Mbytes/Sec

4:41

SD Express Speed Classes and SD 9.1 Innovations

sdcassociation · 1 год назад · 252 просмотра

2



SD EXPRESS SPEED CLASS SPECIFICATIONS

Speed Classes	Speed Class Pictographs	Minimum Read/Write Performance
Speed Class 150		150 Mbytes/Sec
Speed Class 300		300 Mbytes/Sec
Speed Class 450		450 Mbytes/Sec
Speed Class 600		600 Mbytes/Sec

4:41

SD Express Speed Classes and SD 9.1 Innovations (English subtitles)

sdcassociation · 1 год назад · 1,3 тыс. просмотров

3



SD EXPRESS OFF-THE-SHELF SOLUTION SPOTLIGHT

6:10

Easily Add SD Express to Products Using Off-the-Shelf Solutions Today

sdcassociation · 1 год назад · 2,3 тыс. просмотров

4



SD Association
 Solutions for Implementing SD Express into Your Products
 Public Webinar
 February 2021

58:08

Solutions for Implementing SD Express into Your Products Webinar

sdcassociation · 1 год назад · 536 просмотров

5



RIGHT TO REPAIR

- + Easy Repairs
- + Easy Upgrades
- + Reduce E-Waste

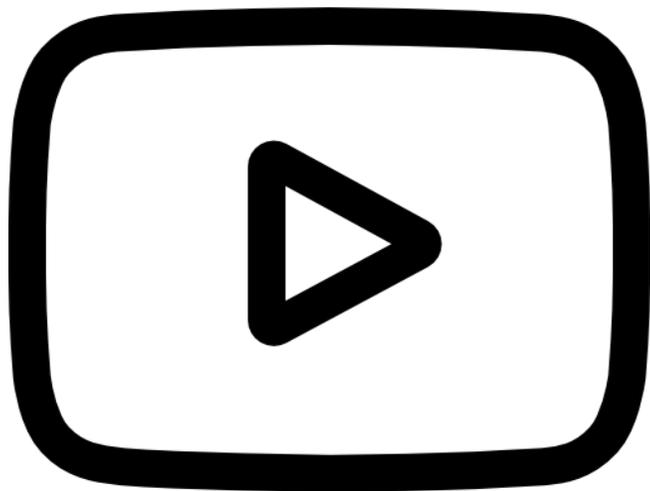
6:13

SD 9 Specification: Delivering More Device Storage Options

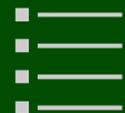
sdcassociation · 2 года назад · 179 просмотров

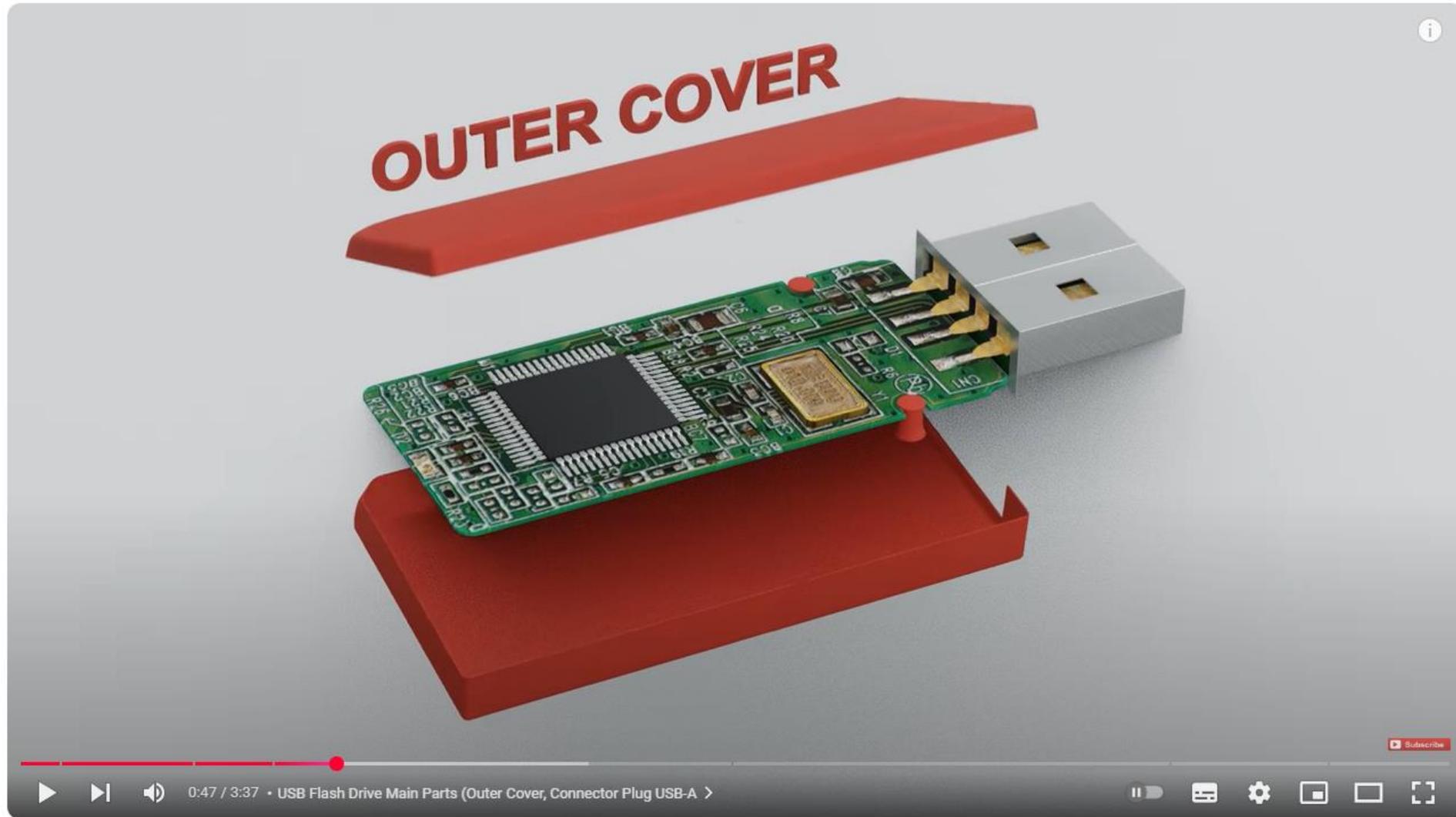
SD Association. SD Express

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLZ8Cue8CNJNfvWJTD3QfEp42waQrY7BqI>



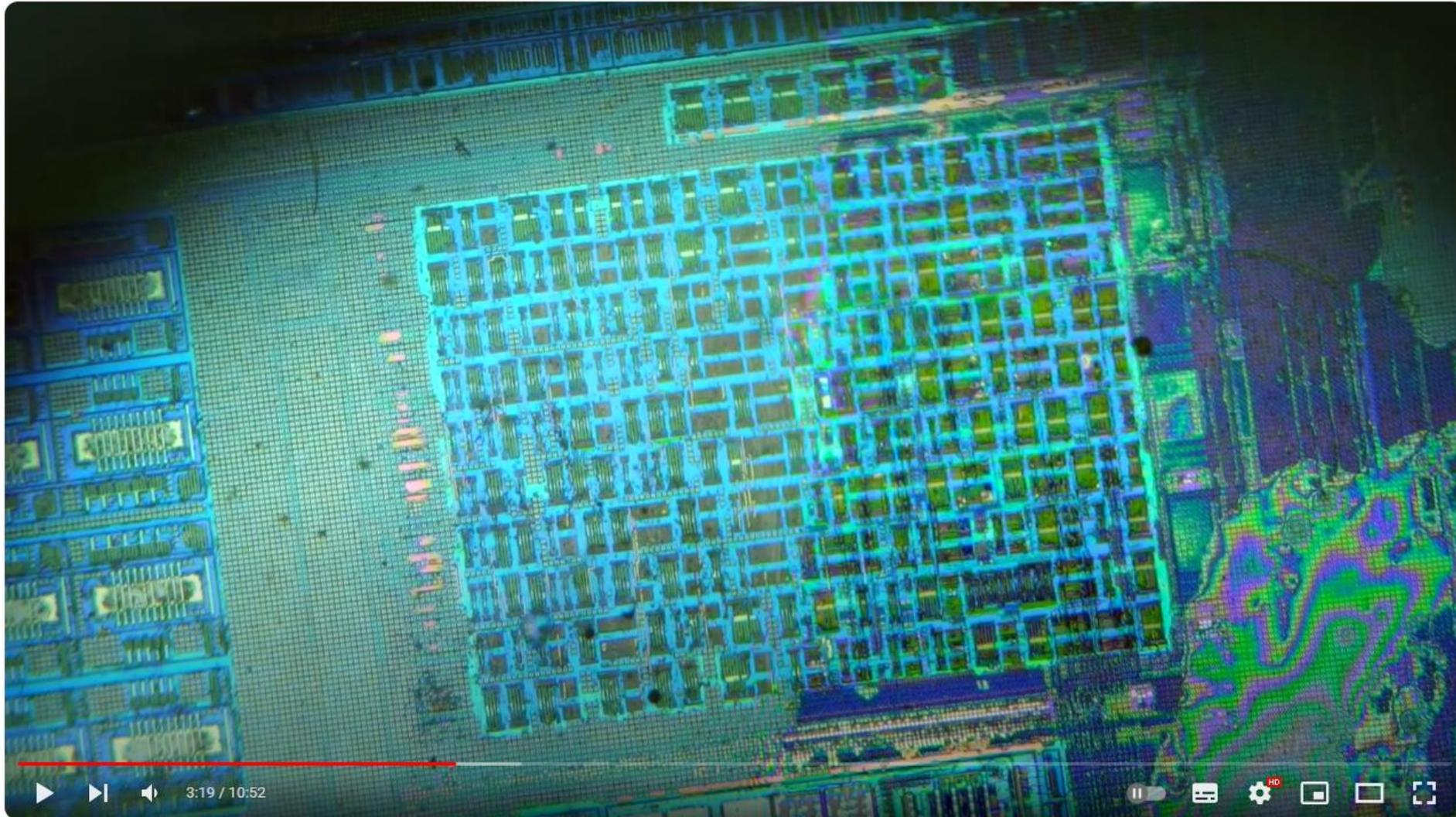
USB-flash накопители





How USB Flash Drive Works? (2023)

https://www.youtube.com/watch?v=hy7_XC8hZ5c

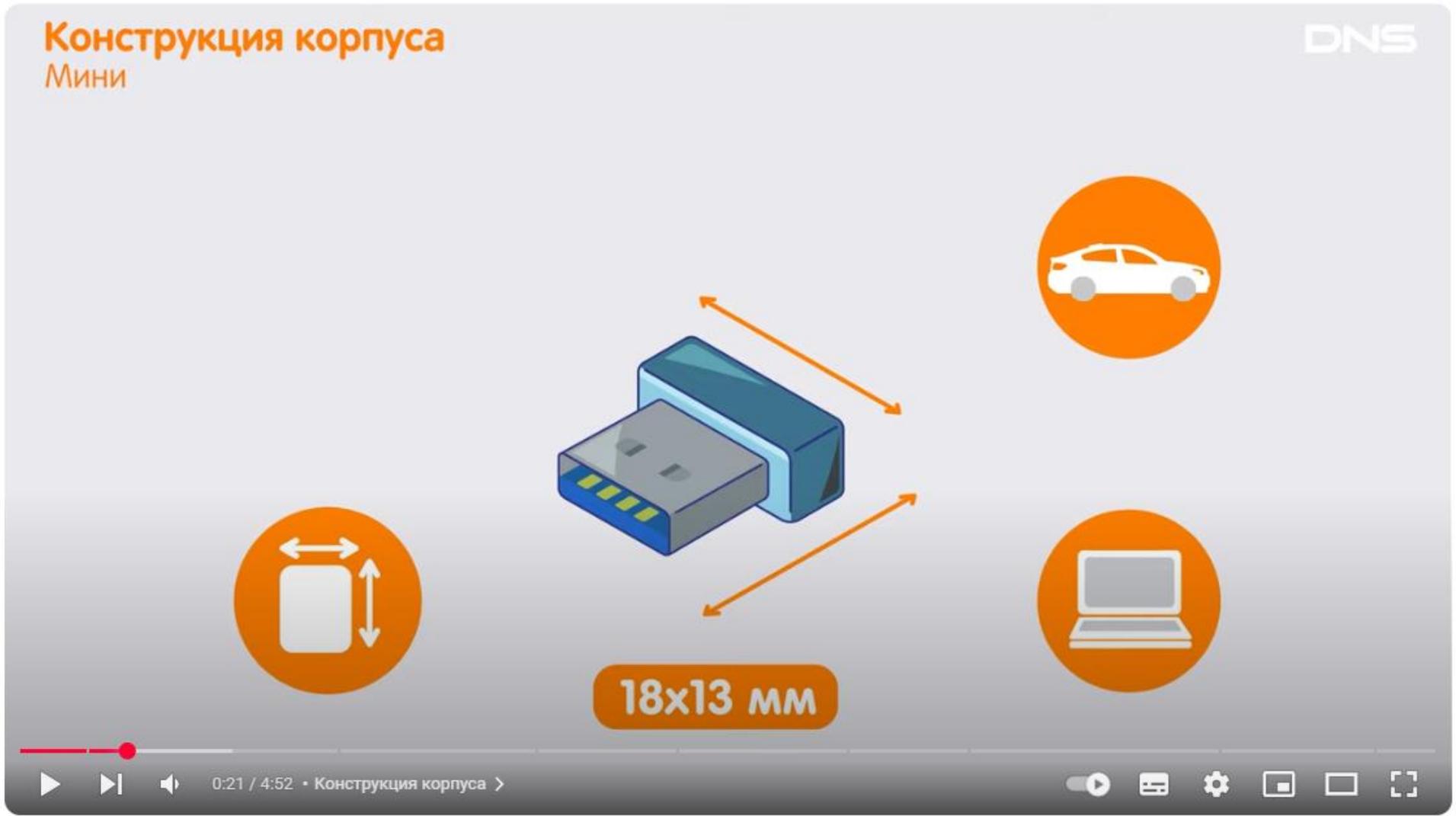


А вы знали что внутри флешки целый мир? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=JRHUJdRZM-E>

YouTube 4:52

Конструкция корпуса Мини

DNS



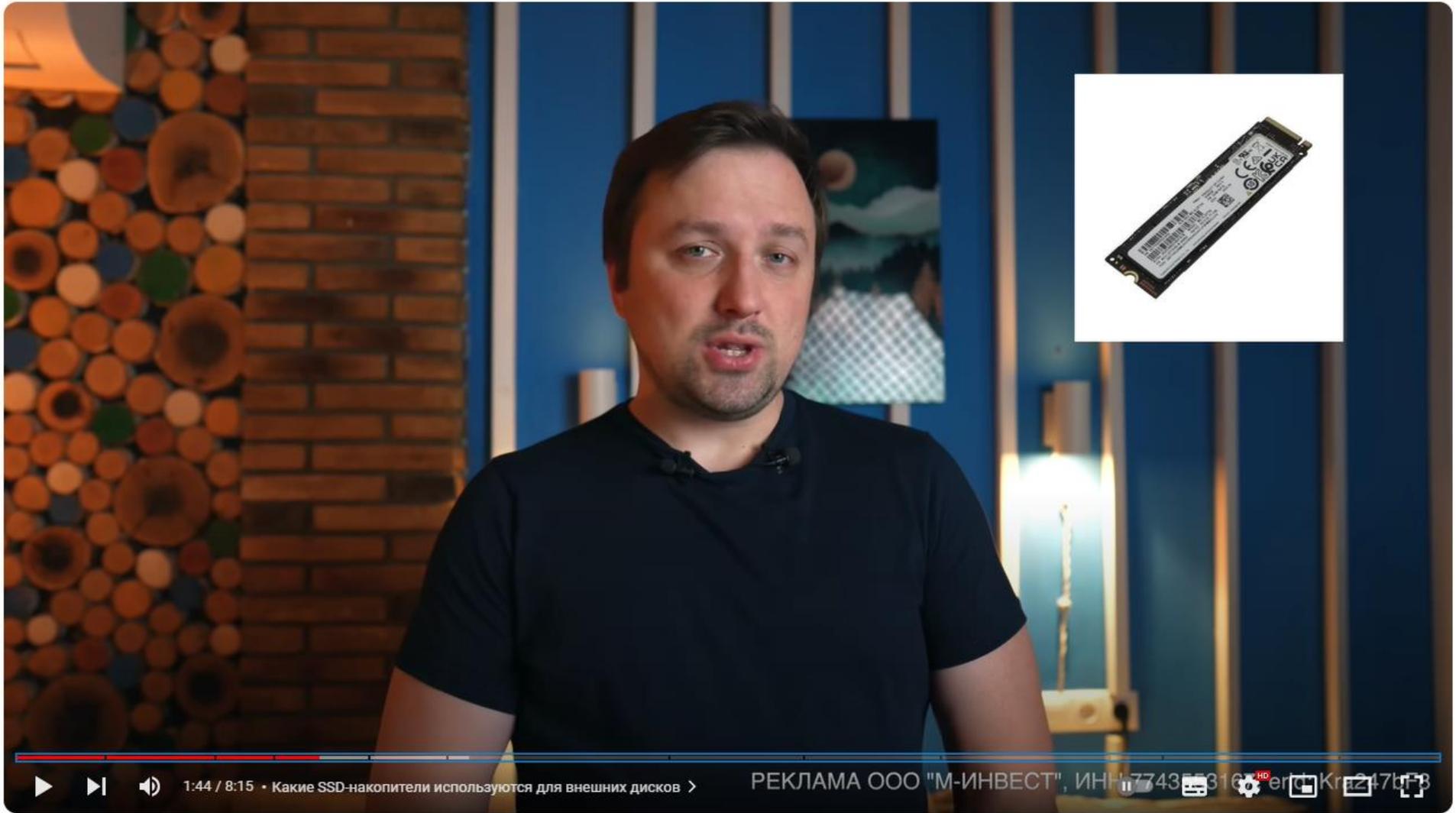
Как выбрать USB-FLASH? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=ug9T-oodXZg>



Как выбрать USB-флешку? USB 3.1, OTG, шифрование, чипы памяти, ресурс... (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Llx1rF7eiDw>



Как выбрать USB-флешку? Полезные советы (2020) <https://www.youtube.com/watch?v=Tu5uVK2xj4w>

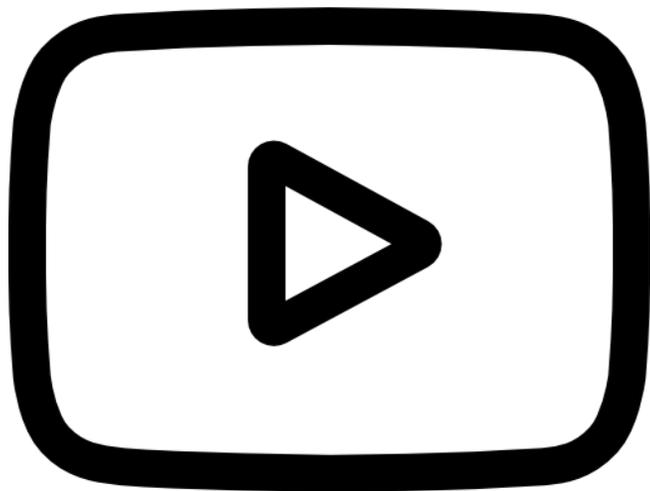


SSD или USB-флешка: какой накопитель выбрать? (2023)

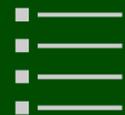
<https://www.youtube.com/watch?v=vFOpevkYkqg>

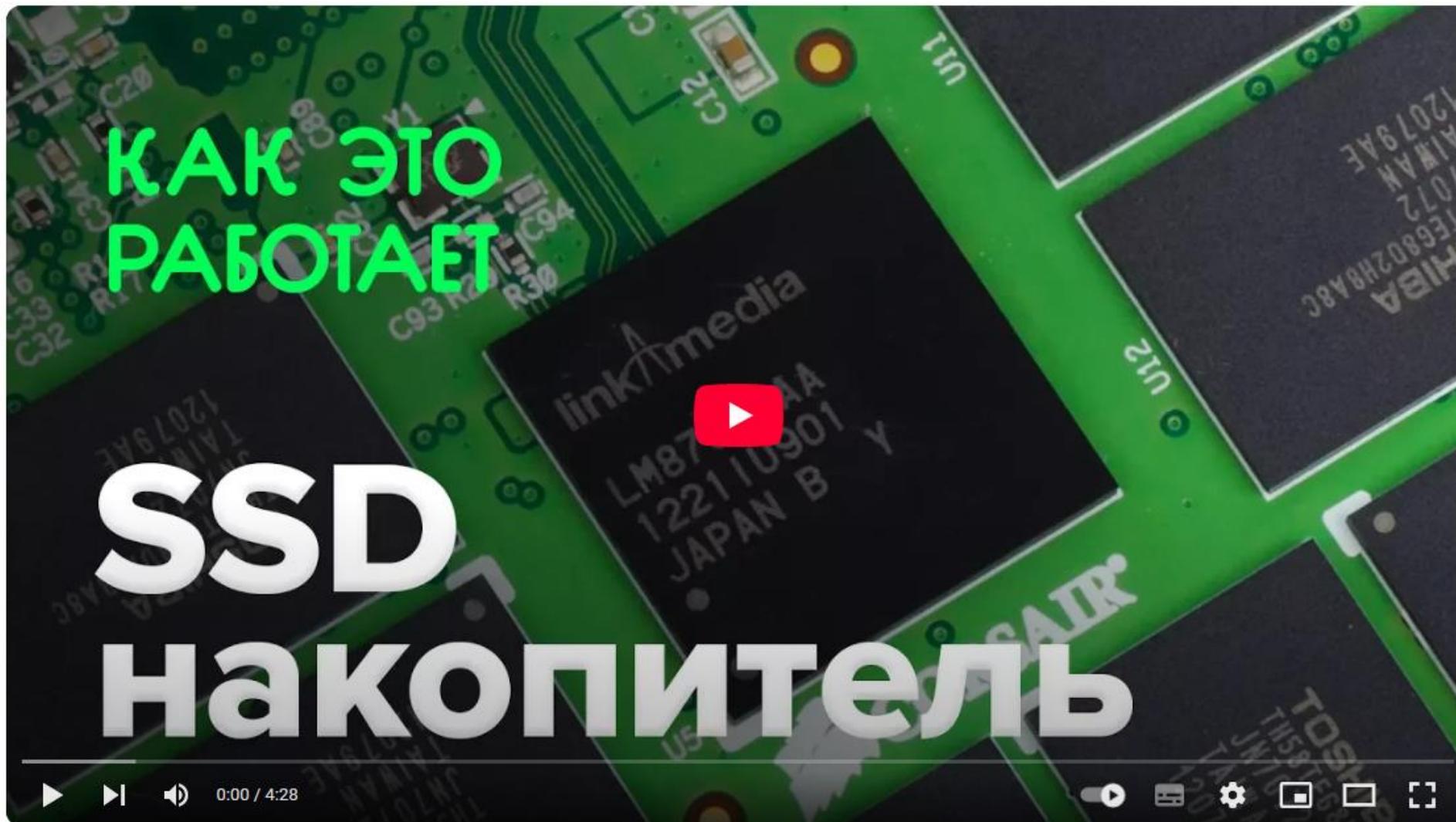


5 things you didn't know your USB Flash Drive could do! (2022)
5 вещей, о которых вы не знали, что ваш USB-накопитель может делать! (2022)
<https://youtu.be/fAlz59koSnY?si=jcVWjZMarxGvaoXL>

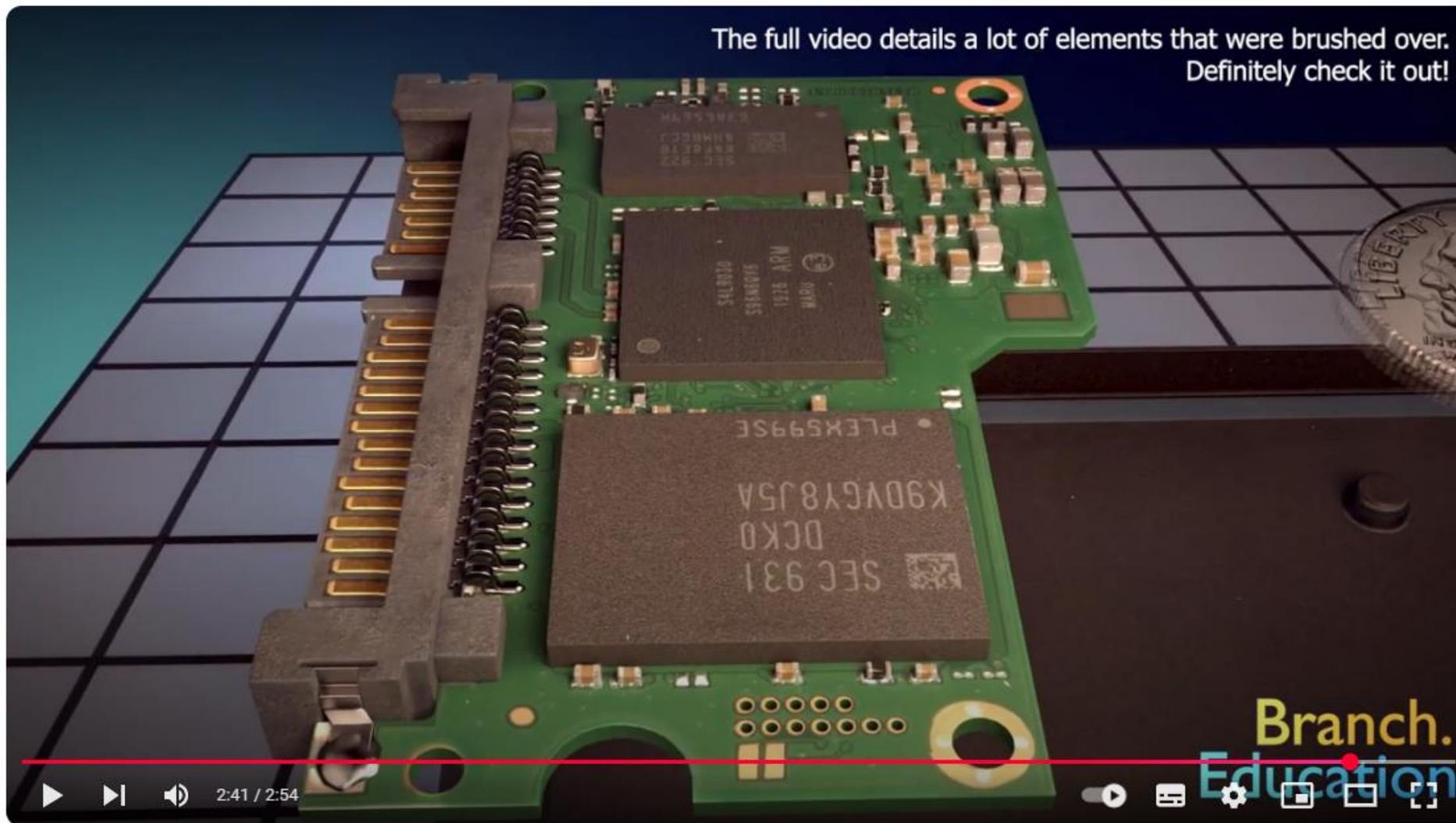


Твердотельные накопители (Solid-State Drive, *SSD*)

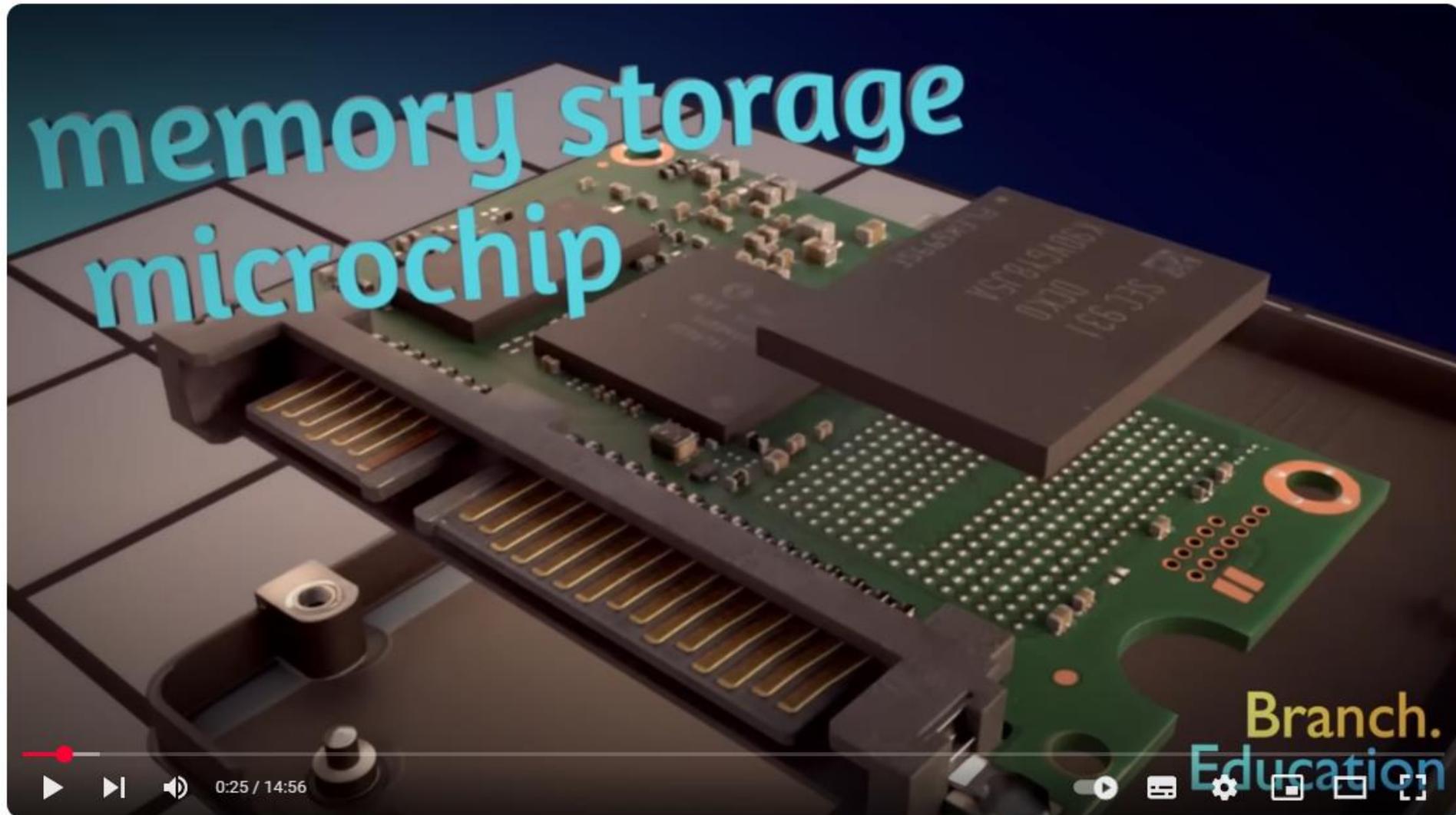




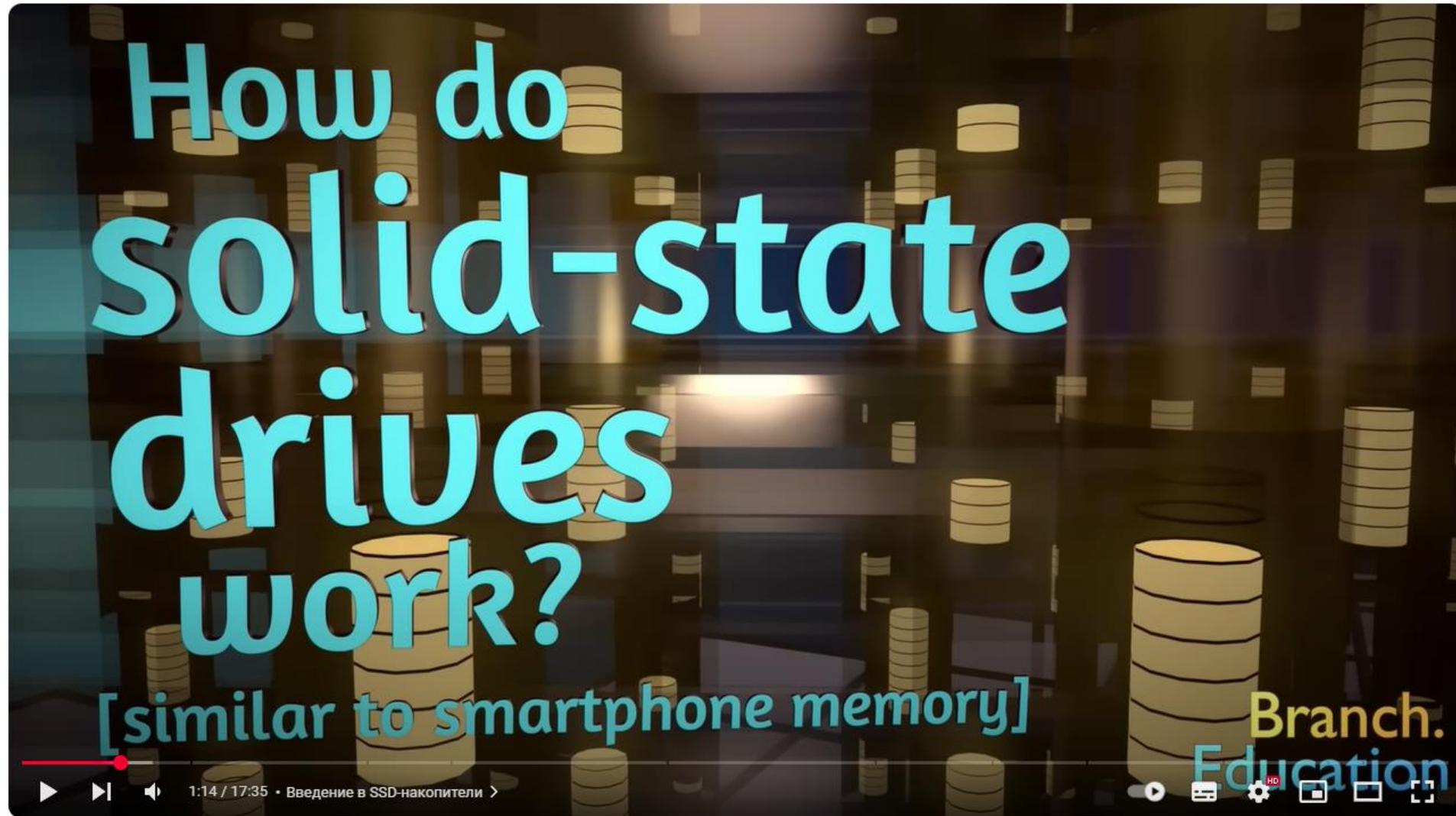
Как работает SSD-накопитель (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=tg9qRyCKbN4>



Как работает SSD? Объяснения менее чем за 3 минуты (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Hmzgdt5dzik>



Как работают SSD? Как ваш смартфон хранит данные? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=klmbXdeoA4s>



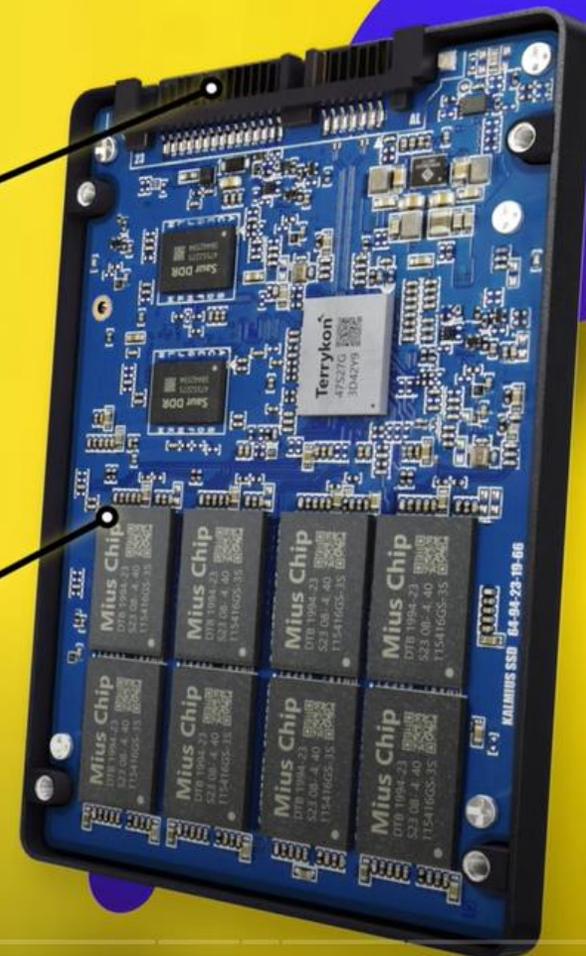
Как работают SSD? Как ваш смартфон хранит данные? [Branch Education на русском] (2025)
https://www.youtube.com/watch?v=g0-D2JLG_jg

HOST INTERFACE

Интерфейс подключения. Тип соединения и протокол, через который SSD соединяется с

NAND-ПАМЯТЬ

Микросхемы NAND-памяти, хранящие данные. Большинство современных твёрдотельных накопителей основаны на энергонезависимой NAND



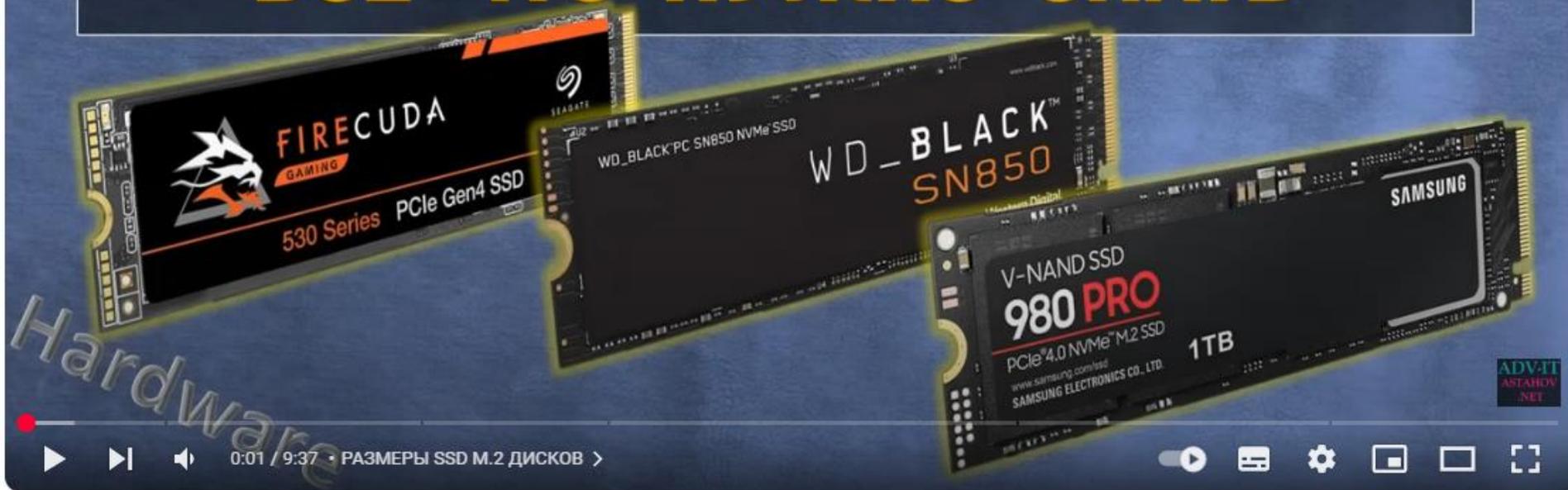
Устройство SSD. Как работает твердотельный накопитель, контроллер и NAND Flash память (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=zrSXFtzhbsc>



Полный гайд по SSD-накопителям: SATA, M.2, QLC, TLC, MLC, NVMe, mSATA, 3D NAND...(2020) <https://www.youtube.com/watch?v=FEGOdkcYSdY>

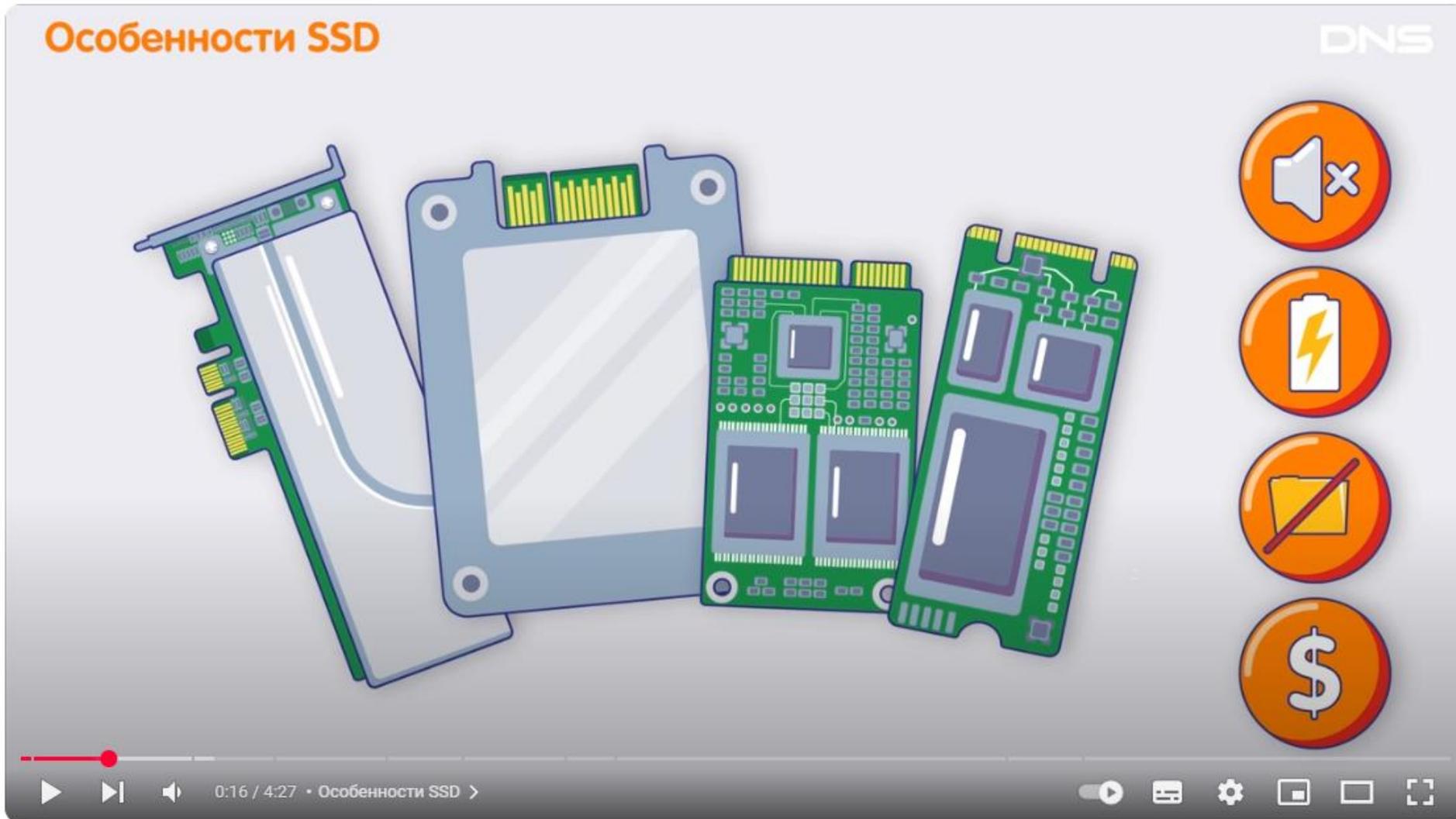
ДИСКИ SSD M.2

ВСЁ ЧТО НУЖНО ЗНАТЬ



Всё что нужно знать про Диски M.2 SSD (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=z2j2gUI9HcE>

Особенности SSD

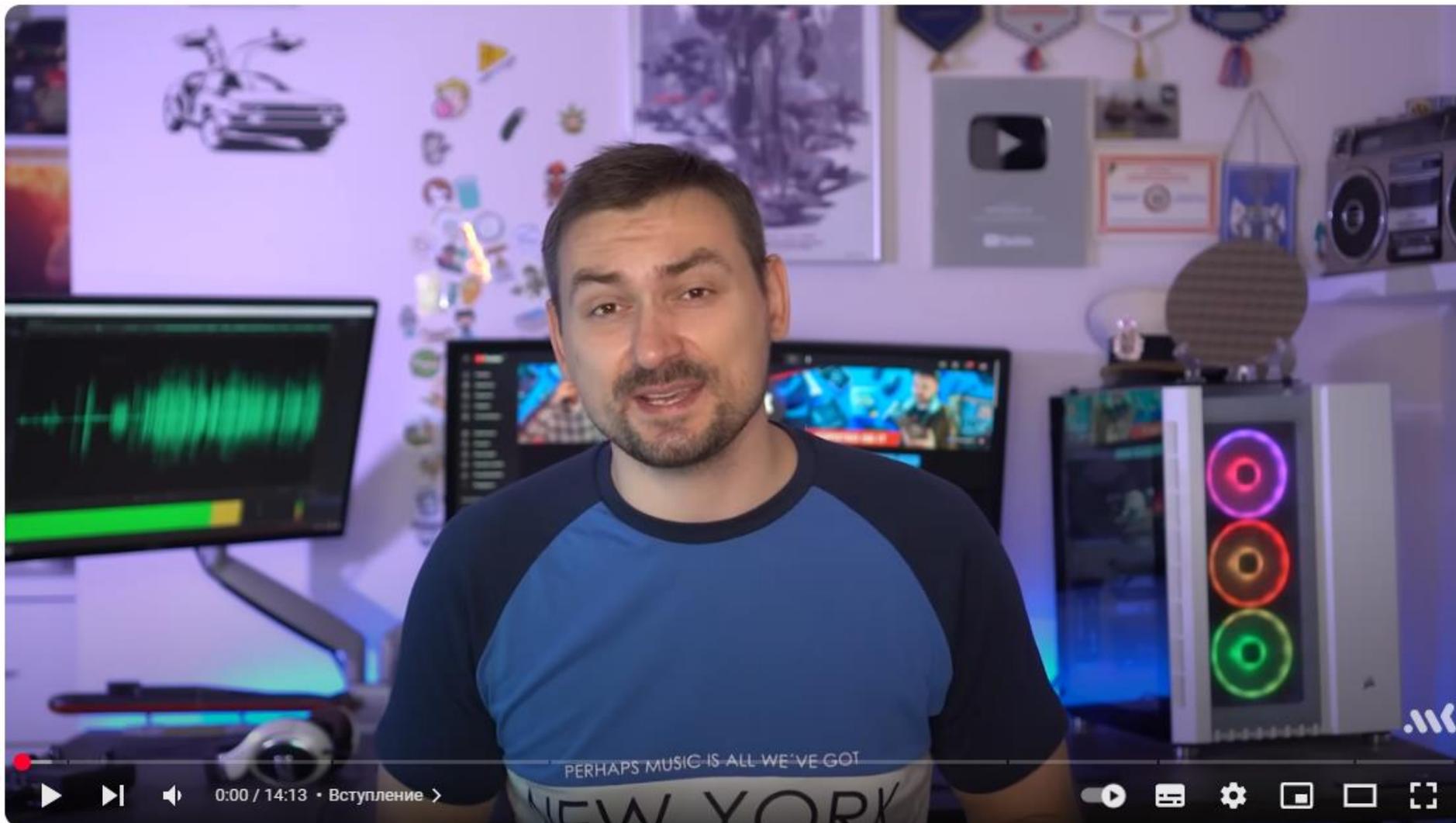


Как выбрать твердотельный накопитель SSD? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=5mZsuwuRHEs>

1. Форм-фактор



КАК ВЫБРАТЬ SSD ДИСК? Важные характеристики, TLC и MLC. Как купить SSD? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Qa4o7Kj6Q3U>



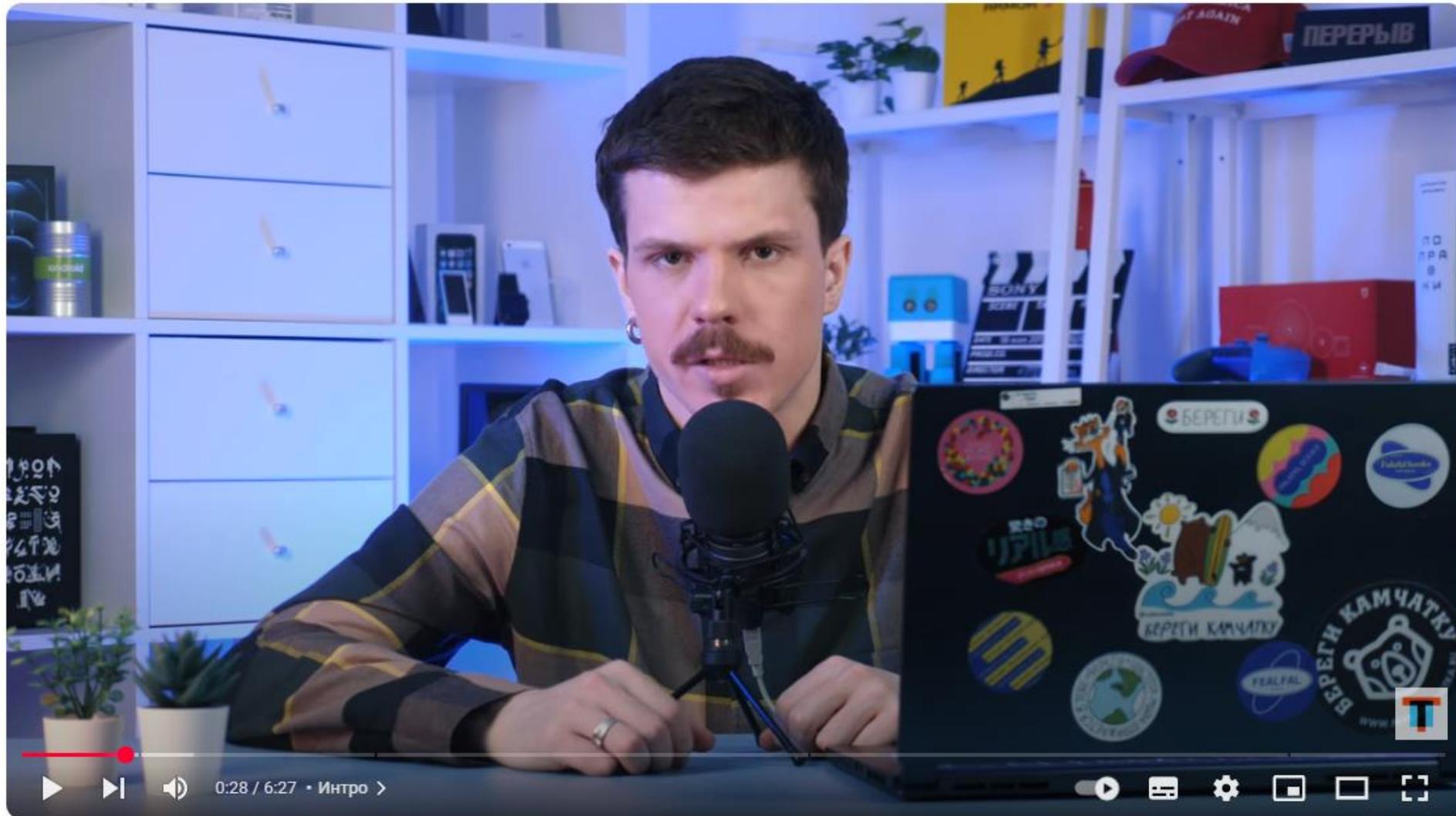
Все что вы должны знать о выборе SSD (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=JunTqnJbcmE>



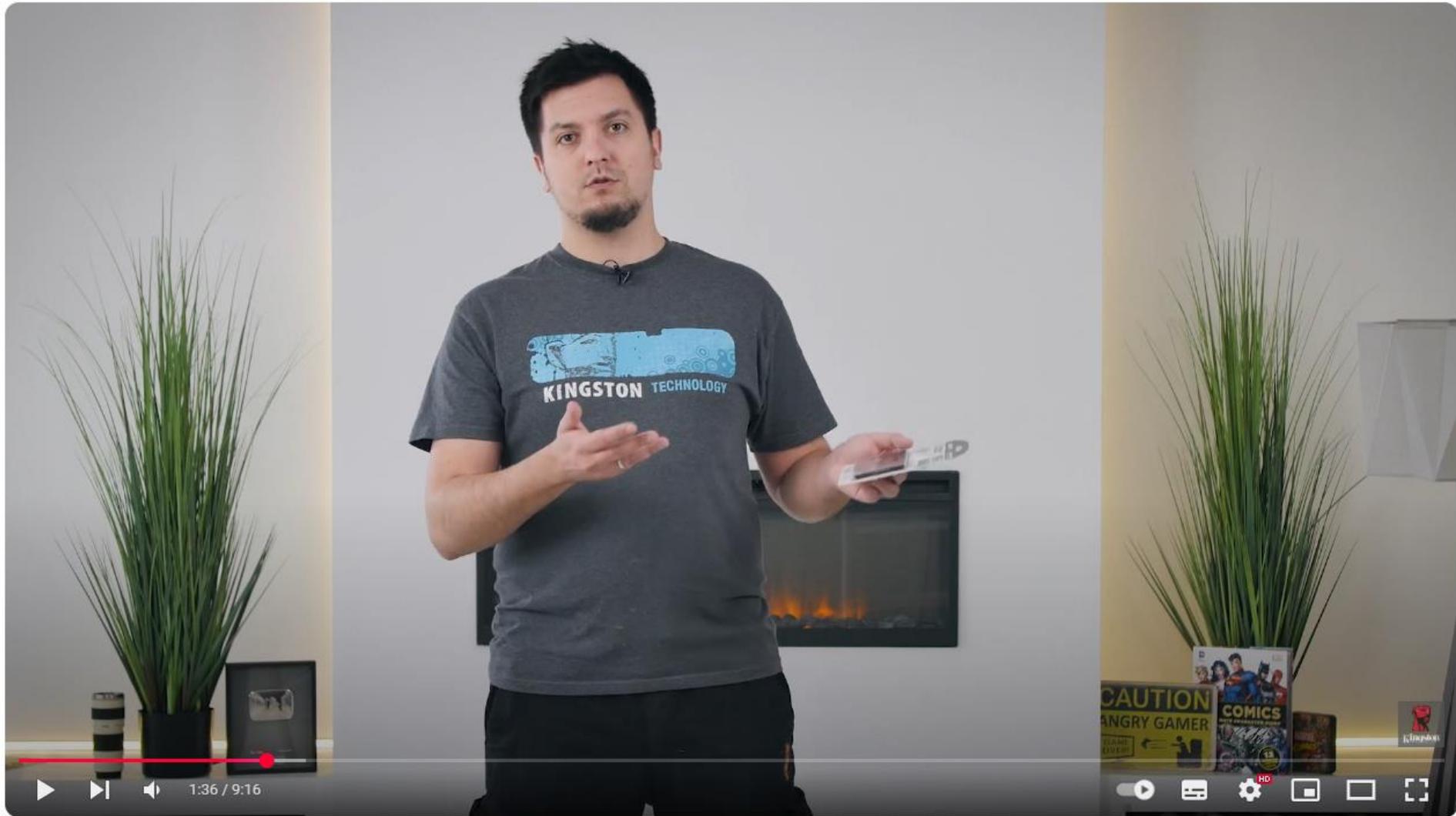
ОХЛАЖДЕНИЕ SSD

**СНИМАТЬ ЛИ
НАКЛЕЙКУ?**

Что нужно знать об охлаждении накопителей M.2 и продлении их срока службы (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=CFjCD2AyD6Y>



Как устроены SSD и почему они умирают (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=1J-7qyJPcG0>



SSD с шифрованием: что это и зачем оно нужно? (2020)

<https://www.youtube.com/watch?v=0UBdmLpasIU>



Вот, почему нельзя хранить информацию на внешних SSD (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=IBzASDqdtfM>

YouTube 3:40



Почему нельзя покупать дешевые SSD? (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=heRgElzseVE>



Команда TRIM на SSD(2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=3ewaja8wv54>

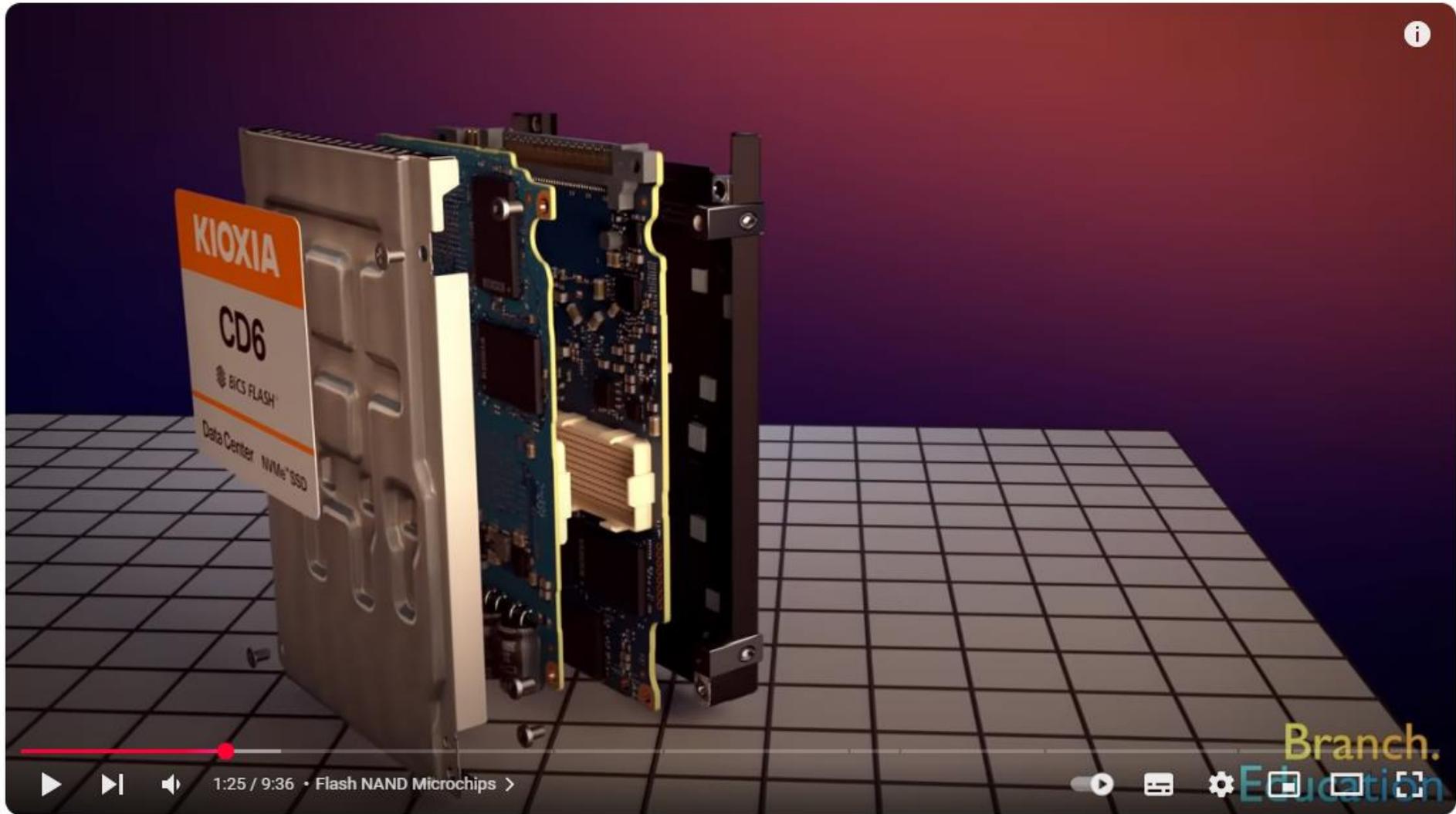


Ресурс SSD: Бесконечен ли бесконечный ресурс SSD дисков?(2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=l1k2q0Jkb3E>

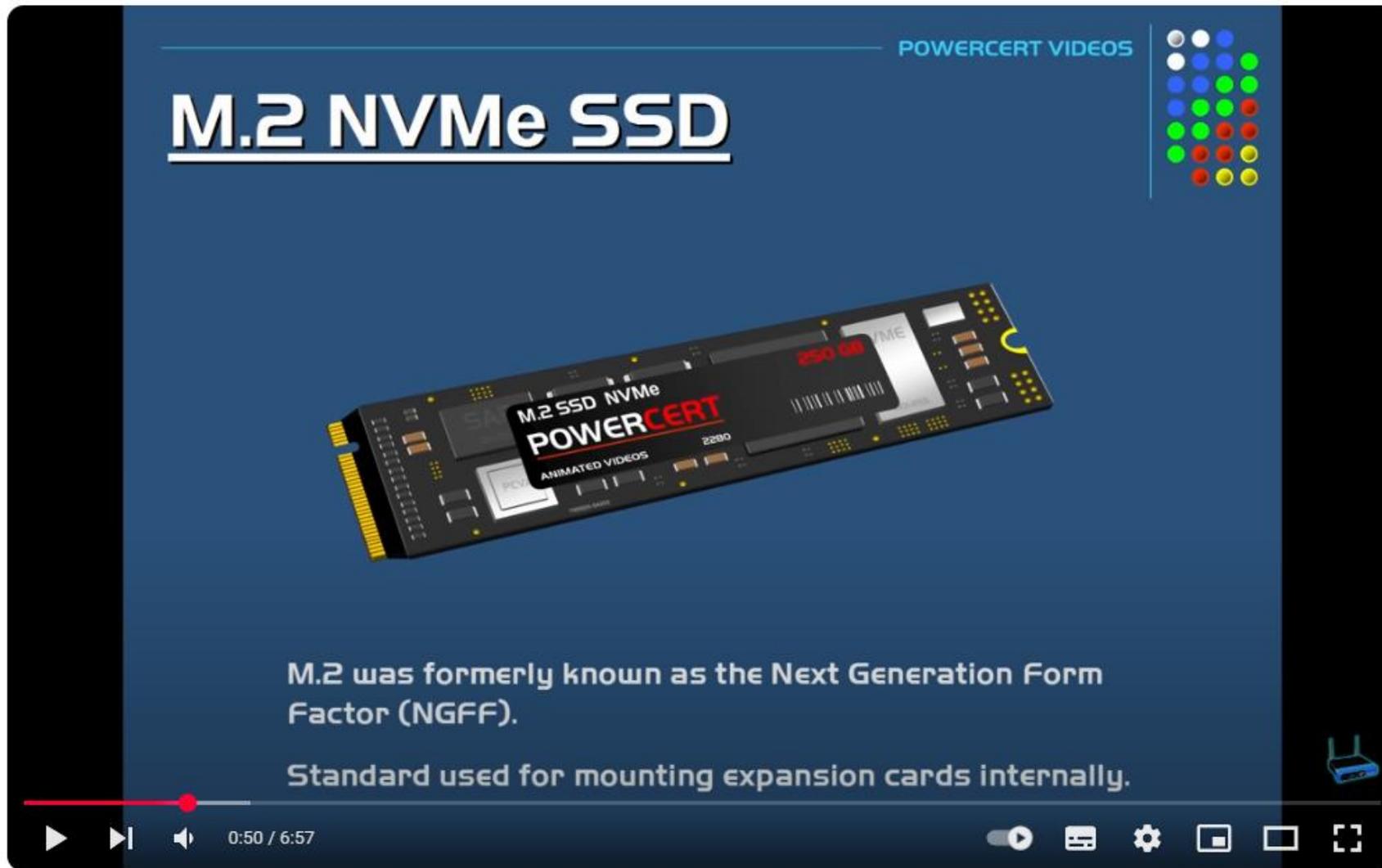


SSD: Практические советы (2020)

<https://www.youtube.com/watch?v=JTty63rb8nFk>



Как этот твердотельный накопитель хранит 8 ТБ данных? || Разработка архитектуры твердотельных накопителей (2021)
How does this SSD store 8TB of Data? || Inside the Engineering of Solid-State Drive Architecture (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=r-SivgEpAIQ>

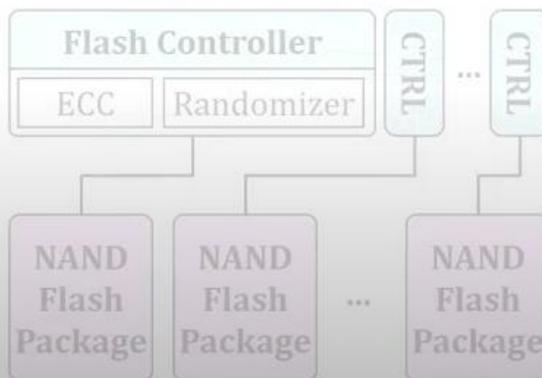
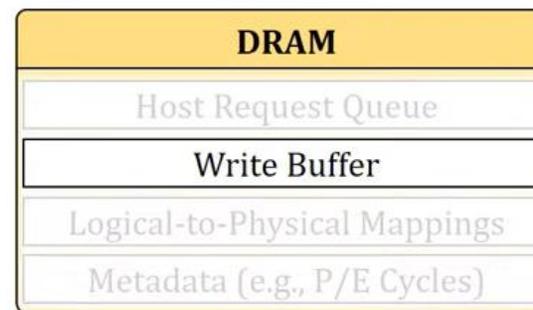
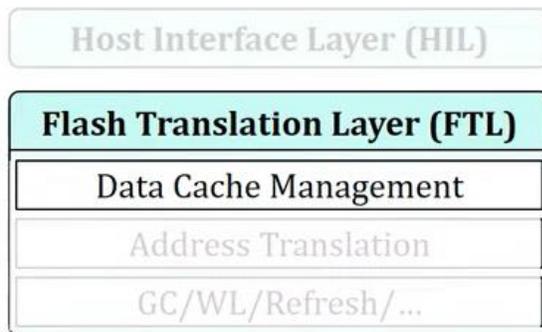


Объяснение SSD M.2 NVMe - M.2 против SSD (ENG) (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=HvfleTieXOI>



SOLID STATE DRIVES | How It's Made(2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=fCpn8umYnyg>

Request Handling: Write



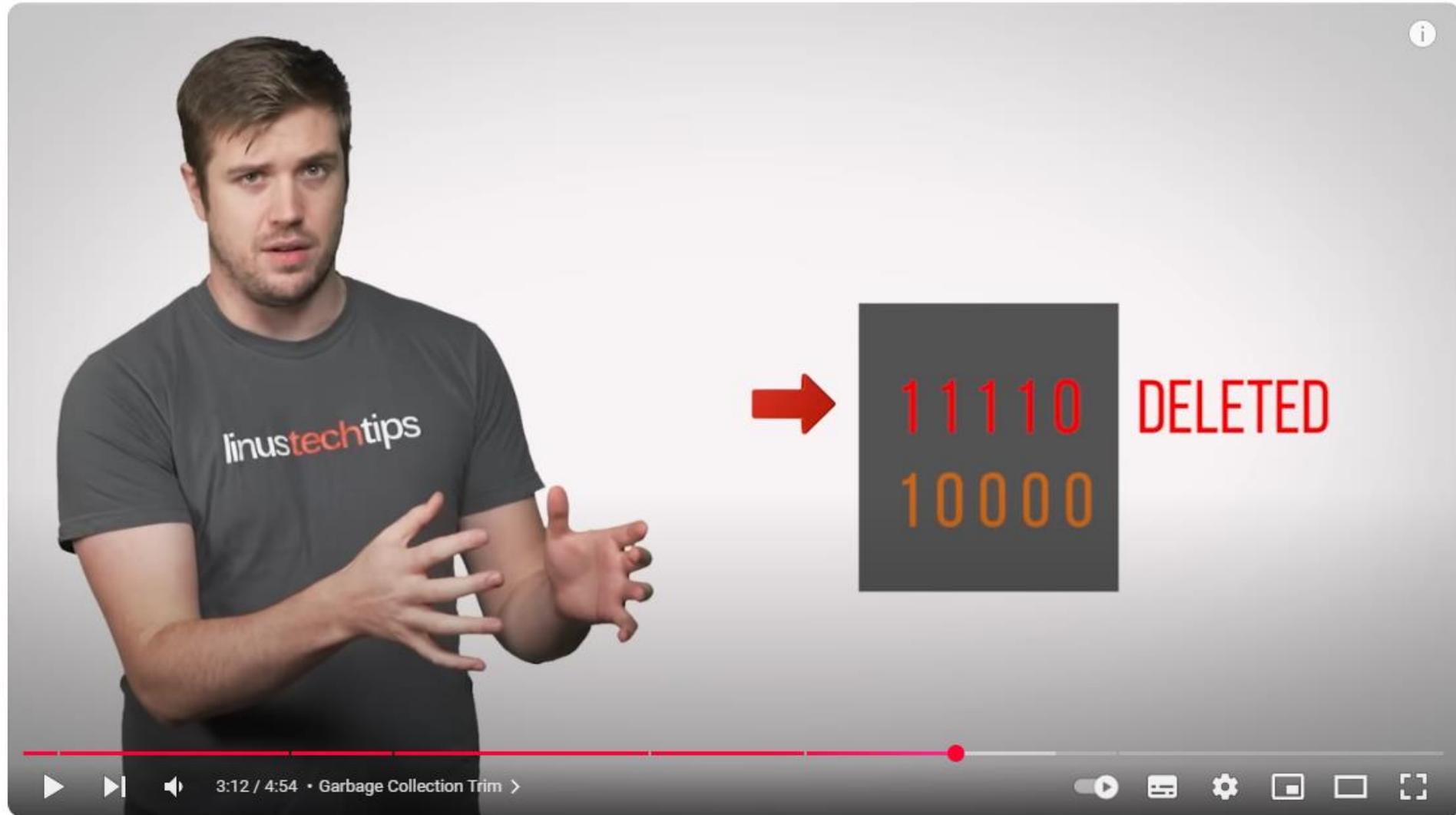
- Buffering data to write (read from NAND flash memory)
 - Essential to reducing write latency
 - Enables flexible I/O scheduling
 - Helpful for improving lifetime (not so likely)
- Limited size (e.g., tens of MBs)
 - Needs to ensure data integrity even under sudden power-off
 - Most DRAM capacity is used for L2P mappings



14:01 / 56:55

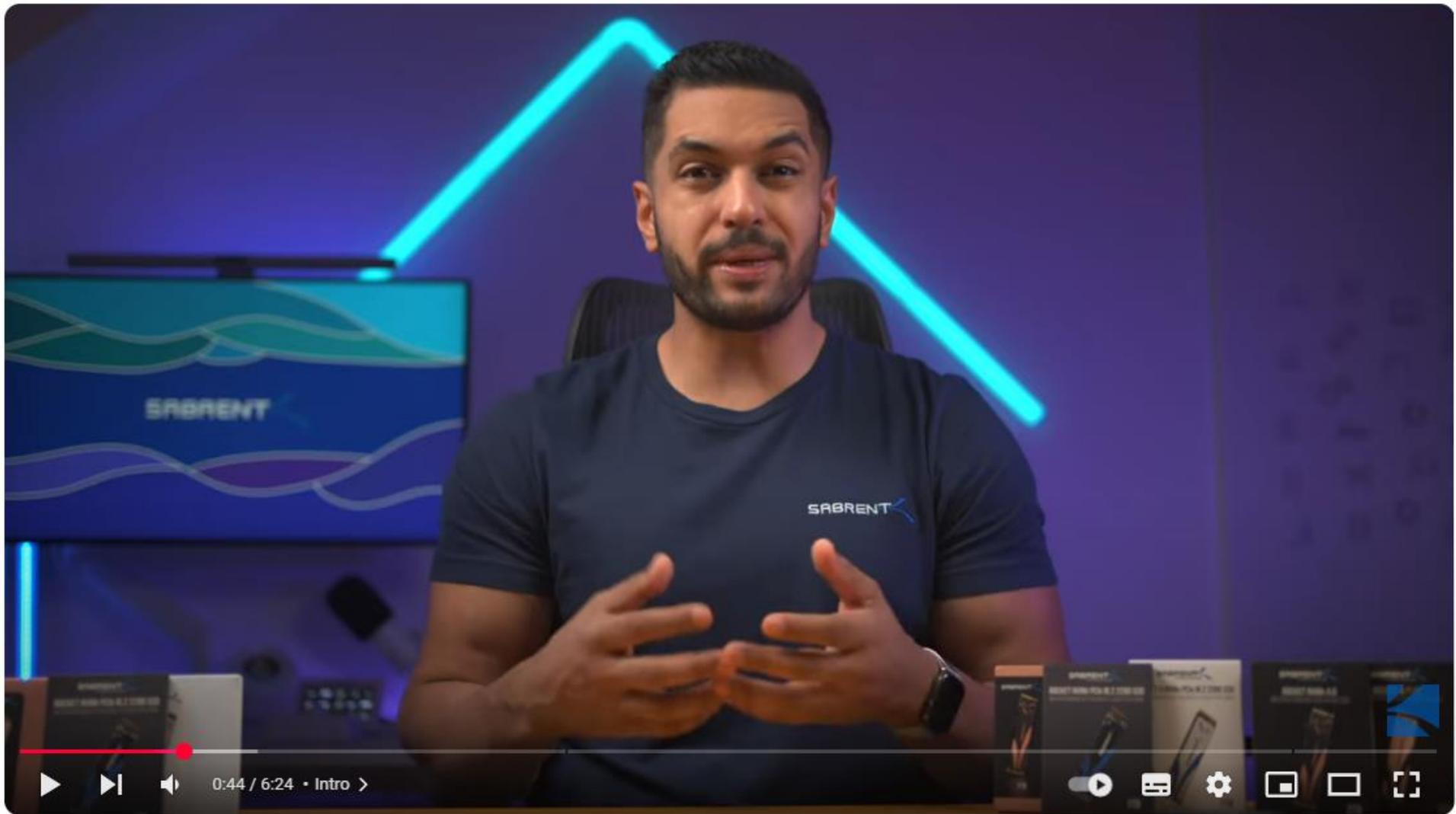
zoom

Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 1: Basics of NAND Flash-Based SSDs (Spring 2024) <https://www.youtube.com/watch?v=mG2zf8qV3nw>

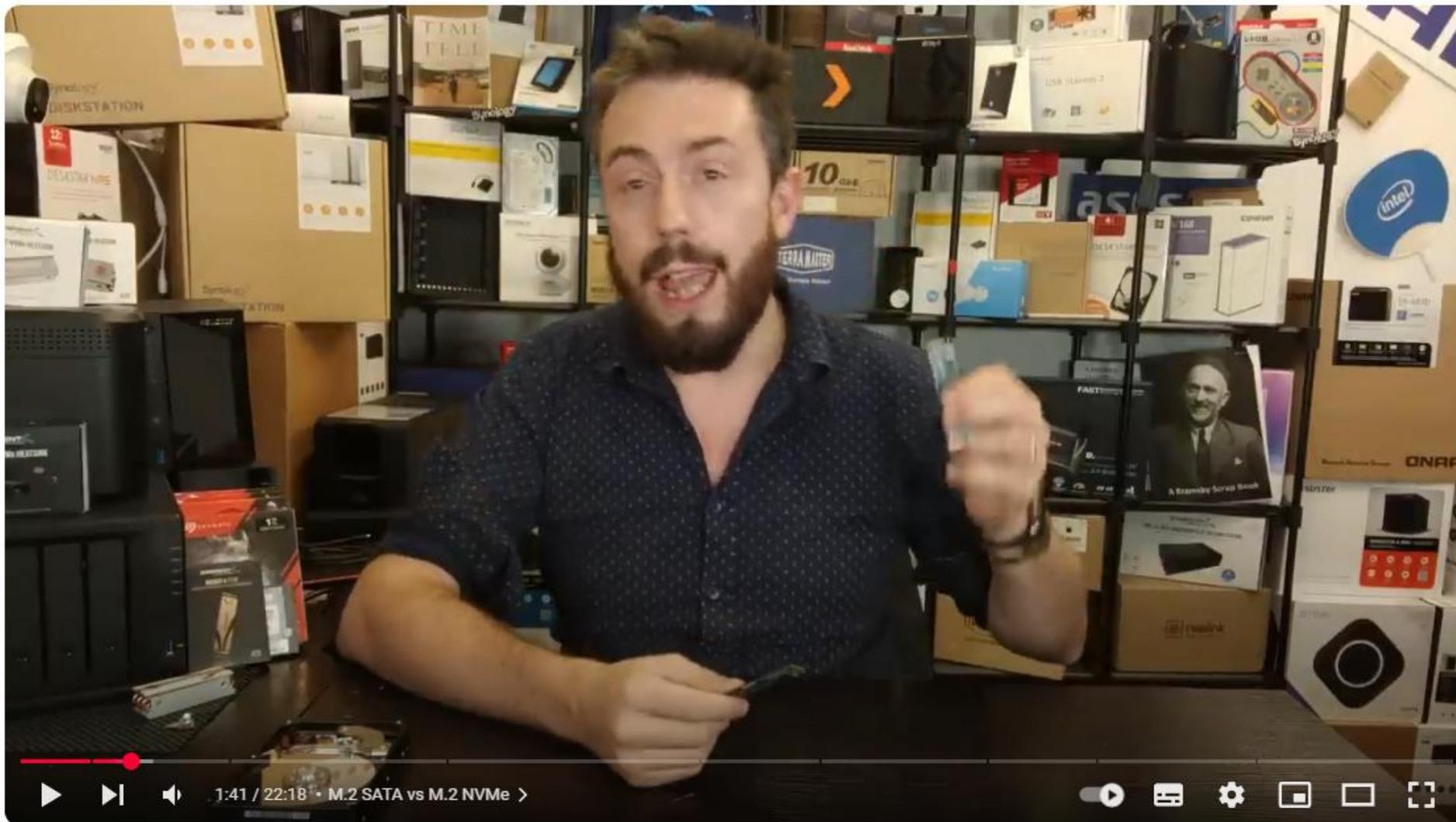


Контроллеры SSD-накопителей как Можно Быстрее (2016)
SSD Controllers as Fast As Possible (2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=qUZtXUP78sw>



Что такое SSD HMB и почему вам следует обратить на них внимание! (2023)
What are HMB SSDs And Why You Should Consider Them! (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=u3s_l2q62t0



Руководство для идиотов по использованию твердотельных накопителей NVMe - Перед покупкой (2021)
Idiots Guide to NVMe SSD Guide - Before You Buy (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=g3gEdxCdDHQ>

YouTube 10:36



Все Типы твердотельных накопителей (2018)
All SSD Types EXPLAINED (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=kx0ynC8Thlw>



Объяснен SSD. Основы твердотельного накопителя. (2025)
SSD Explained. Basics of The Solid-State Drive. (2025)
https://www.youtube.com/watch?v=ggN6dmlS_CQ



Tuesday Tech Tip - Understanding SSD Trimming (2023)
Понимание процесса TRIM в SSD (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=S3TmGup_dwM

READ, WRITE & ERASE

- **MEMORY CELL** (SLC, MLC, TLC, QLC)
#Permanently stores charge
#charged = 0 , not charged = 1
- **PAGE** contains multiple memory cells
#Level which can be **READ** and **WRITTEN**
- **BLOCK** contains multiple pages
#Level which can be **ERASED**

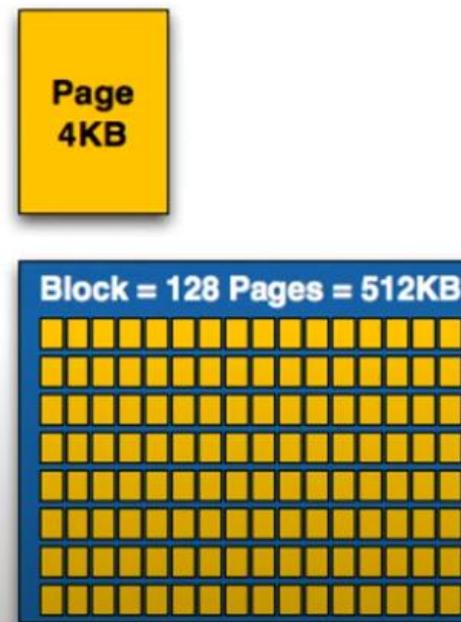


Image Source: anaprotech.com

Цифровая криминалистика и SSD - новое хранилище King | University Submission (2021)
Digital Forensics & SSD – The New Storage King | University Submission(2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=zDEAptoQVn8>



SSDs: The Downfall of Digital Forensics (2022)
Твердотельные накопители: крах цифровой криминалистики (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=s2tgtljsUGM>



ВСЕ, ЧТО ВЫ ХОТЕЛИ ЗНАТЬ ПРО SSD
И НЕ ТОЛЬКО



proSSD

@prossd · 65,6 тыс. подписчиков · 1,3 тыс. видео

Канал посвящен обзорам SSD-накопителей и их работе. Здесь вы найдете информа...ещё

youtube.com/@proSSD_test и ещё 3 ссылки

Подписаться

Главная Видео Трансляции Плейлисты Записи 🔍

Для вас



Недорогой SSD с Aliexpress - SSD CUSU CV7000 4TB
9,8 тыс. просмотров · 1 месяц назад



Жуткая палка с Авито - SSD WD Black SN750 2TB
10 тыс. просмотров · 4 дня назад



Будущее PCIe 4.0 SSD??? Обзор новинки SSD ADATA Legend 860 1TB (SLEG-860-1000GCS)
5,8 тыс. просмотров · 2 недели назад



Сделано в России??? SSD ГРАВИТОР 256G3P4-M201 (EЦРТ.467532.00)
63 тыс. просмотров · 5 месяцев назад

Pro SSD. Канал посвящен обзорам SSD-накопителей и их работе.
<https://www.youtube.com/@prossd>



SSD

Kingston Tech

Плейлист • 54 видео • 1 593 просмотра

▶ Воспроизвести в...

🔖 🔄 ⋮

1 недоступное видео скрыто.



Как создавали самый быстрый SSD

Kingston Tech • 6 лет назад • 14 тыс. просмотров



Твердотельные накопители форм-фактора 2,5 дюйма, M.2 и mSATA - Kingston UV500

Kingston Tech • 6 лет назад • 2,5 тыс. просмотров



1TB SSD-накопитель M.2 NVMe с памятью 3D NAND - Kingston A2000

Kingston Tech • 5 лет назад • 5,4 тыс. просмотров

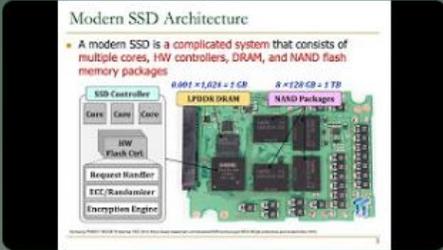


SSD емкостью 2 ТБ, 2,5дюйма, с интерфейсом SATA и аппаратным самошифрованием—KC600 компании Kingston

Kingston Tech • 5 лет назад • 2,6 тыс. просмотров

SSD

https://www.youtube.com/playlist?list=PLOZ29M8Ow0aPf7zBooC7-9SSy0dG_5nFk



Modern SSD Architecture

A modern SSD is a complicated system that consists of multiple cores, HW controllers, DRAM, and NAND flash memory packages

SSD Controller
Cache Cache Cache
Request Handler
ECC/Randoser
Encryption Engine

LPDDR DRAM 60001 = 1.024 = 1 GB

NAND Packages 8 = 128 GB = 1 TB

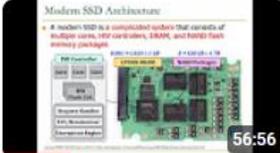
Livestream - P&S Modern SSDs (Spring ...

Onur Mutlu Lectures

Плейлист · 6 видео · 1 968 просмотров

▶ Воспроизвести в...

1



Modern SSD Architecture

A modern SSD is a complicated system that consists of multiple cores, HW controllers, DRAM, and NAND flash memory packages

56:56

Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 1: Basics of NAND Flash-Based SSDs (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · Трансляция закончилась 10 месяцев назад · 2,4 тыс. просмотров

2



Distribution of MLC NAND Flash

Multi-level cell (MLC) technique

1. 2ⁿ V_{th} levels required to store n bits in a single flash cell

2. Limited width of the V_{th} window. Need to:

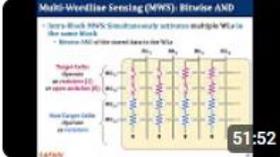
- Minimize V_{th} shift in time
- Guarantee sufficient margin low adjacent V_{th} cells
- V_{th} changes over time after programming
- Normalized margins → lower reliability
- More bits per cell → higher density but lower reliability

46:10

Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 2: Read/Write Operations in Modern SSDs (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · Трансляция закончилась 9 месяцев назад · 888 просмотров

3



Multi-Wordline Sensing (MWS) Bitwise AND

Write Back MWS: Simultaneously address multiple Write in the same block

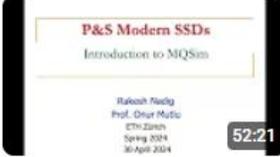
Bitwise AND of the sensed data on the V_{th}

51:52

Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 3: Processing Inside NAND Flash (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · Трансляция закончилась 9 месяцев назад · 729 просмотров

4



P&S Modern SSDs

Introduction to MQSim

Rafiqul Haque
Prof. Onur Mutlu
ETH Zurich
Spring 2024
30 April 2024

52:21

Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 4: Introduction to MQSim (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · 9 месяцев назад · 520 просмотров

5



GenStore: A High-Performance In-Storage Processing System for Genome Sequence Analysis

P&S SSD - up to 100x

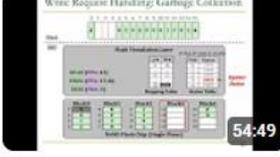
ETH Zurich bionano

43:50

Modern SSDs - Lecture 5: GenStore: In-Storage Processing System for Genome Analysis (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · 8 месяцев назад · 278 просмотров

6



Write Request Handling: Garbage Collection

54:49

Modern SSDs - Lecture 6: Improving Read/Write Performance in Modern SSDs (Spring 2024)

Onur Mutlu Lectures · Трансляция закончилась 8 месяцев назад · 686 просмотров

Livestream - P&S Modern SSDs (Spring 2024). Onur Mutlu Lectures
https://www.youtube.com/playlist?list=PL5Q2soXY2Zi_vvYPRfYd1dJ8Am5bvJ-A4

- 1 SSD диск Western Digital Blue 2.5" 250Gb SATA III TLC 3D (WDS250G2B0A)
proSSD · 5 лет назад · 47 тыс. просмотров
- 2 SSD диск Crucial 2.5" BX500 480 Gb SATA III 3D NAND (CT480BX500SSD1)
proSSD · 5 лет назад · 43 тыс. просмотров
- 3 SSD диск SEAGATE 2.5" Barracuda 250GB SATA-III 3D NAND TLC (ZA250CM10002)
proSSD · 5 лет назад · 15 тыс. просмотров
- 4 SSD диск ADATA 2.5" SU650 480 Гб SATA III TLC 3D NAND (ASU650SS-480GT-R)
proSSD · 5 лет назад · 37 тыс. просмотров
- 5 SSD диск PATRIOT 2.5" BURST 480 Гб SATA III PBU480GS25SSDR
proSSD · 5 лет назад · 30 тыс. просмотров

Обзоры SSD

<https://youtube.com/playlist?list=PL0Tr76p-GJKrbY26eFyWEiZ2PppeKfSg6&si=mj5viZaCz1JRaJEn>



**ОХЛАЖДЕНИЕ SSD
СНИМАТЬ ЛИ
НАКЛЕЙКУ?**

Техника Компьютер SSD, NVMe

Умный плейлист | Smart Playlist

Плейлист • 61 видео • 113 просмотров

▶ Воспроизвести в...

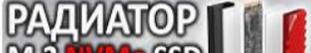
1 недоступное видео скрыто. ✕

- 

Что нужно знать об охлаждении накопителей M.2 и продлении их срока службы
PRO Hi-Tech • 4 года назад • 1,2 млн просмотров
- 

Радиатор для M.2 SSD NVMe Samsung PM981 интерфейс подключения PCI-e - тест и сравнение
СуперКит • 5 лет назад • 85 тыс. просмотров
- 

ТЕСТ Радиаторов для SSD nvme M.2 GEN.4
Custom_MOD • 4 года назад • 25 тыс. просмотров
- 

Stop your Samsung NVMe SSD from Overheating and Thermal Throttling
Electronics&Computers • 3 года назад • 557 тыс. просмотров
- 

Радиатор охлаждения Jonsbo M2-3 red для M.2 SSD
proSSD • 2 года назад • 20 тыс. просмотров

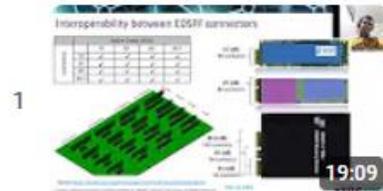
Техника Компьютер SSD, NVMe
<https://youtube.com/playlist?list=PLv8p-3cRLouTgzrsQU-JGn9rSMI41hks9&si=Ac9qzafQxrTZIH5F>

Solid State Storage

SNIAMedia

Плейлист · 41 видео · 287 просмотров

▶ Воспроизвести в...



EDSFF for Storage, Memory and Acceleration

SNIAMedia · 3 года назад · 2 тыс. просмотров



FMS 2020 SSD Track: Using the New EDSFF (E3) SSDs Effectively (Panel)

SNIAMedia · 3 года назад · 1 тыс. просмотров



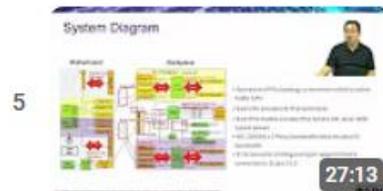
EDSFF: Dynamic Family of Form Factors for Data Center SSDs

SNIAMedia · 4 года назад · 2,9 тыс. просмотров



Next Gen Performance & Efficiency with EDSFF SSD and QLC Technology (SDC 2019)

SNIAMedia · 5 лет назад · 1,4 тыс. просмотров



SDC2021: Challenges and Effects of EDSFF-based NVMe-oF Storage Solution

SNIAMedia · 3 года назад · 519 просмотров

Solid State Storage

https://www.youtube.com/playlist?list=PLH_ag5Km-YUYfmD61hfRoajqF_-wREPP-



Storage & Related Hardware

ExplainingComputers

Плейлист • 25 видео • 62 335 просмотров

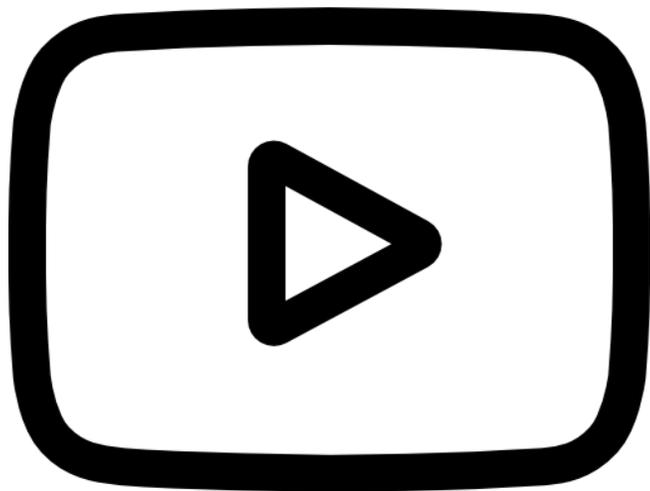
Videos about computer storage devices and related connection hardware.

▶ Воспроизвести в...

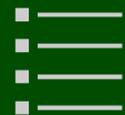
- 1  **Explaining SSDs: The Price/Performance Trade-off**
ExplainingComputers • 1 год назад • 154 тыс. просмотров
- 2  **Explaining SD Cards: 2025 Update**
ExplainingComputers • 1 месяц назад • 125 тыс. просмотров
- 3  **Storage Media Life Expectancy: SSDs, HDDs & More!**
ExplainingComputers • 11 месяцев назад • 602 тыс. просмотров
- 4  **M.2 SSD Adapters & Enclosures**
ExplainingComputers • 1 год назад • 273 тыс. просмотров
- 5  **Explaining File Systems: NTFS, exFAT, FAT32, ext4 & More**
ExplainingComputers • 5 лет назад • 1,3 млн просмотров

Storage & Related Hardware

<https://www.youtube.com/playlist?list=PL2m2YvnrOYxLX5Smd9ujJJj0KUhq36UXD>



Эволюция, история создания, разработки SSD, Flash-памяти, карт памяти



Dataram Bulk Core



Объём: 2 МБ

- Access time 1/10,000 of FHD
- High Throughput
- Zero Error Rate
- Self-Test for Fault Isolation
- Hardware & Software Transparent
- LED-spotlighted Fault Isolation
- 256 KB Modularity
- Non-Volatile
- Non-Mechanical
- High MTBF/Low MTTR
- Low Power
- Parity Check

Анонсирован в 1976 году

24:37 / 34:45



Эволюция носителей информации - HDD, SSD, CD диск, Дискета(2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=9gnapPmwpk4>

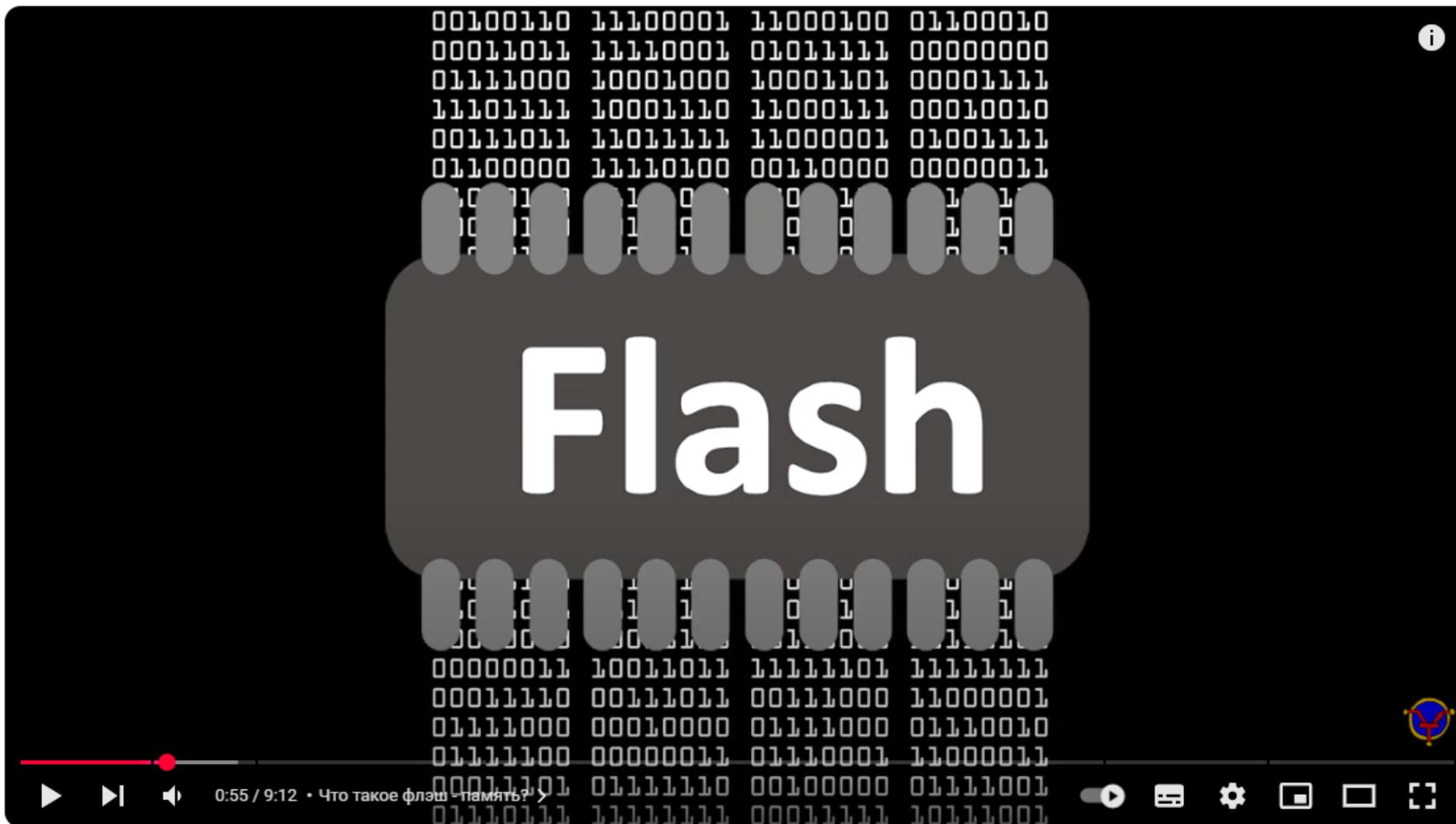


История носителей информации: от картона до флешки и ДНК! (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=s7ulaTltSh0>



История компьютерных систем хранения данных (2016)
The History of Computer Storage (2016)

<https://www.youtube.com/watch?v=-KRLWGalunA>



КАК РАБОТАЕТ ФЛЭШ - КАРТА | Что внутри флэшки?(2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=W-CH3KIdgN4>



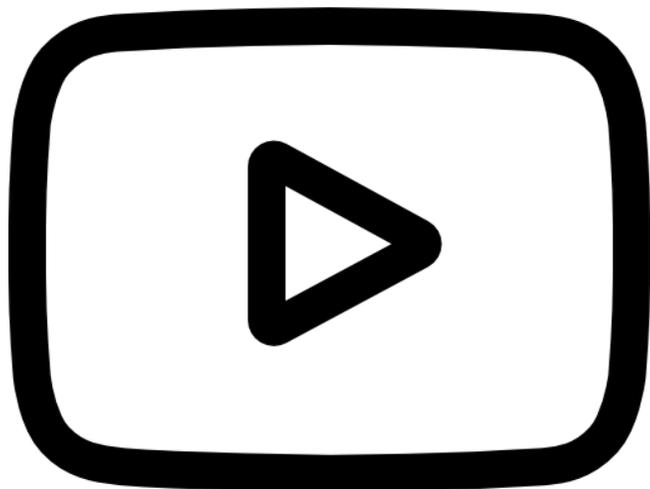
Краткая история твердотельных накопителей (SSD) (2014)
A Brief History of Solid State Drives (SSD) (2014)
<https://www.youtube.com/watch?v=KVQYPMITP2A>

"The Evolution of Computer Memory & Storage"

*Excerpt from BBC2 series "Micro Live"
produced by David Allen
December 1985
run time: 6 mins*



Computer History: Memory & Storage 1950-1985 - (Core, disc, vacuum tube, etc.) (2020)
https://www.youtube.com/watch?v=9XJapKLq_6k

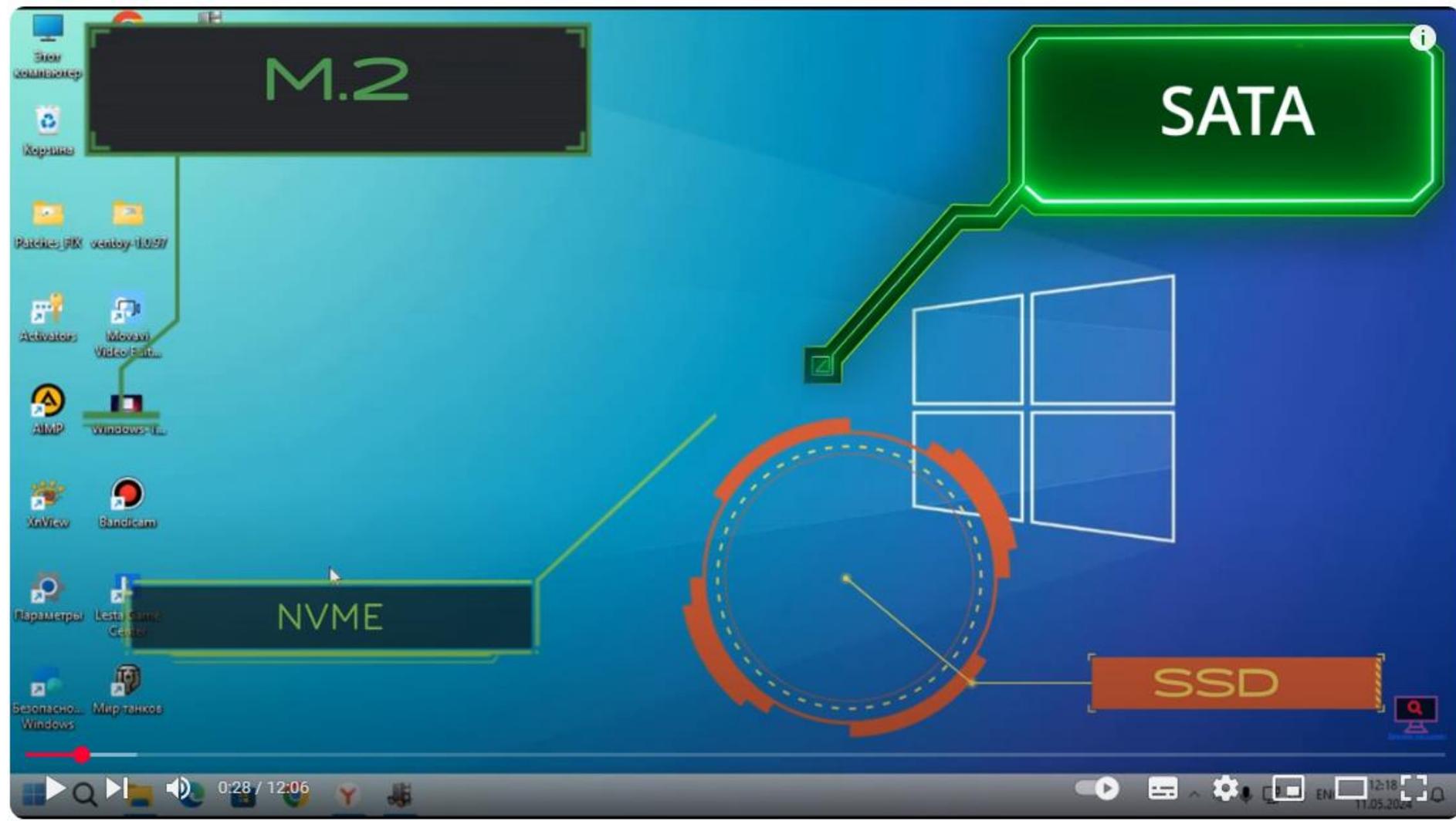


Интерфейсы, форм-факторы, разъемы

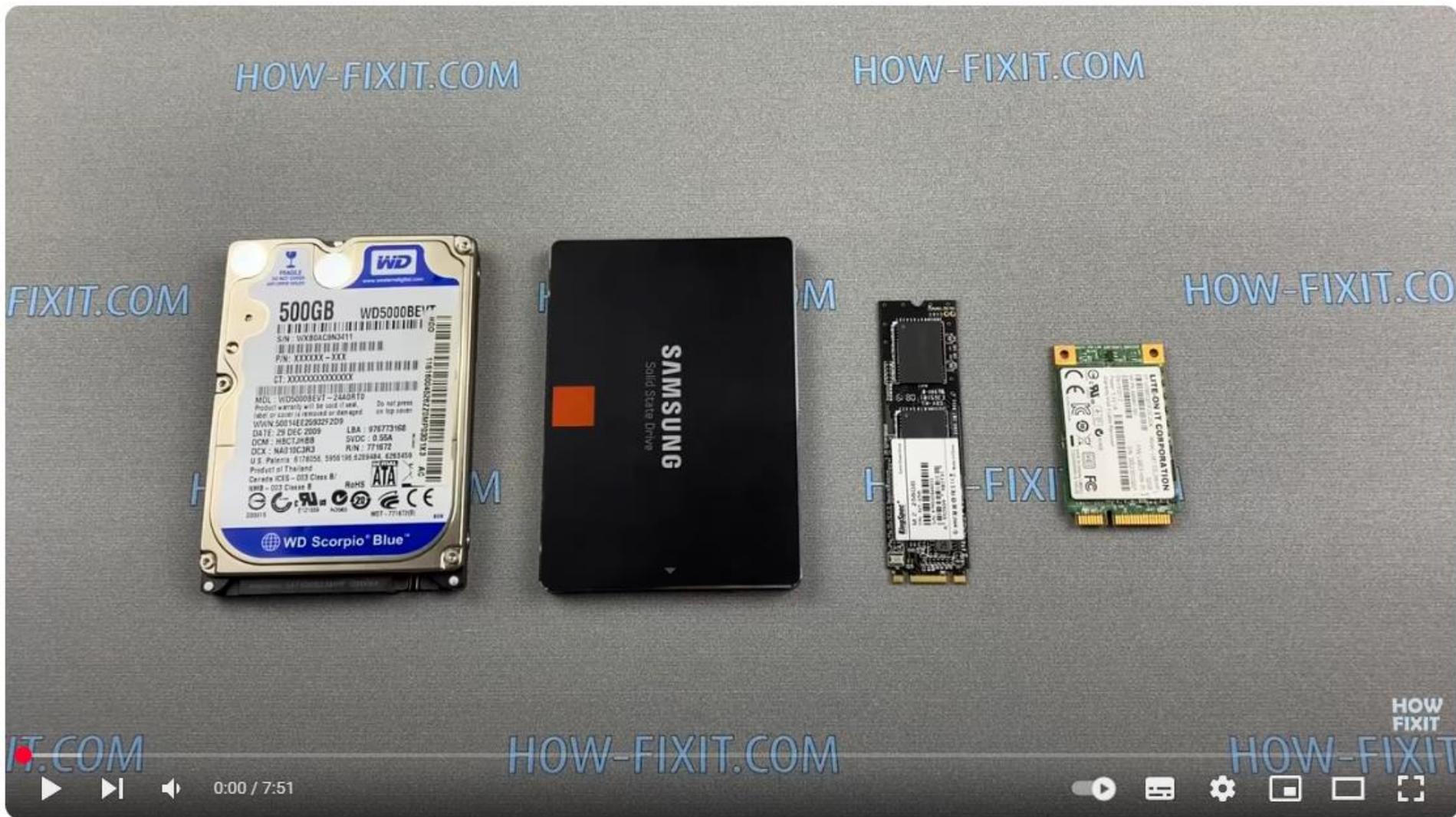




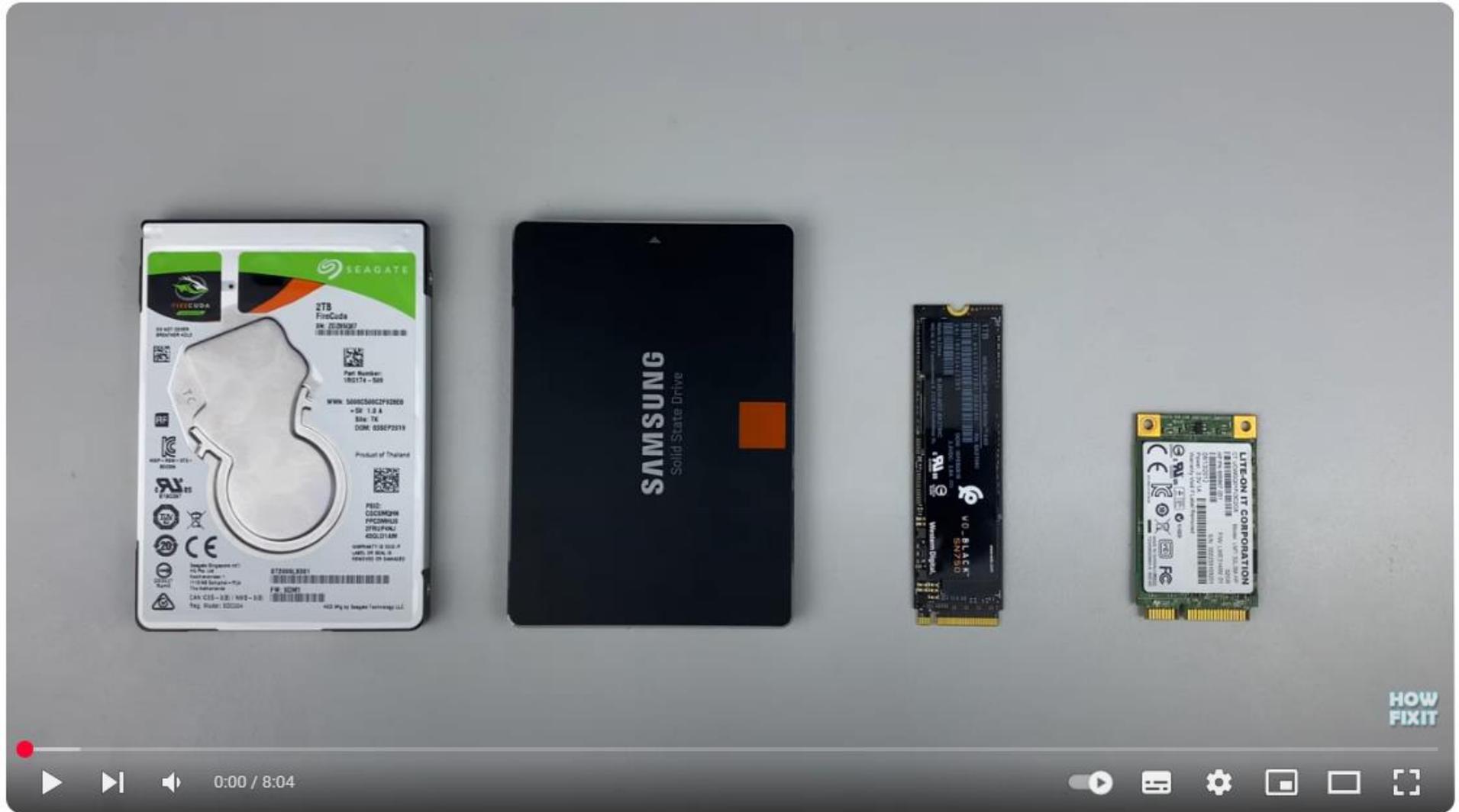
Все о разъемах накопителей и как их подключить: ATA, SATA, mSATA, M.2, NVMe - в чем разница 2 (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=Ksh3qP6y7ks>



HDD vs SSD и SATA vs NVMe - разница между форм факторами и протоколами передачи данных? (2024) https://www.youtube.com/watch?v=u_rnjX19RIQ



Типы накопителей M2 SSD, NVMe, HDD или mSATA - Как выбрать и в чем разница (2019) https://www.youtube.com/watch?v=2FL_d-WDmaY



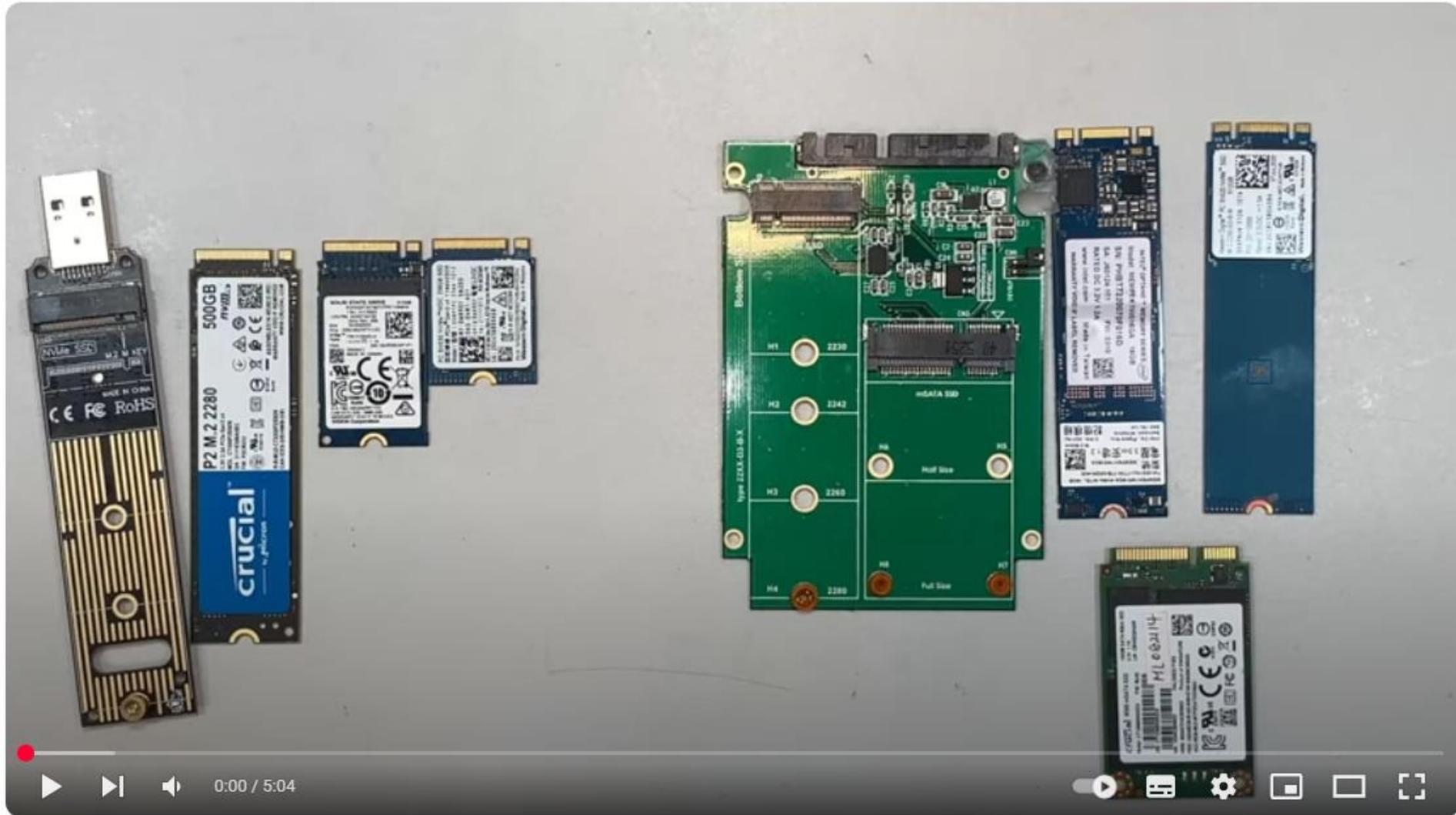
M2 NVMe или SATA SSD Различие и что выбрать (2020) <https://www.youtube.com/watch?v=Wi8ibq5UUv0>



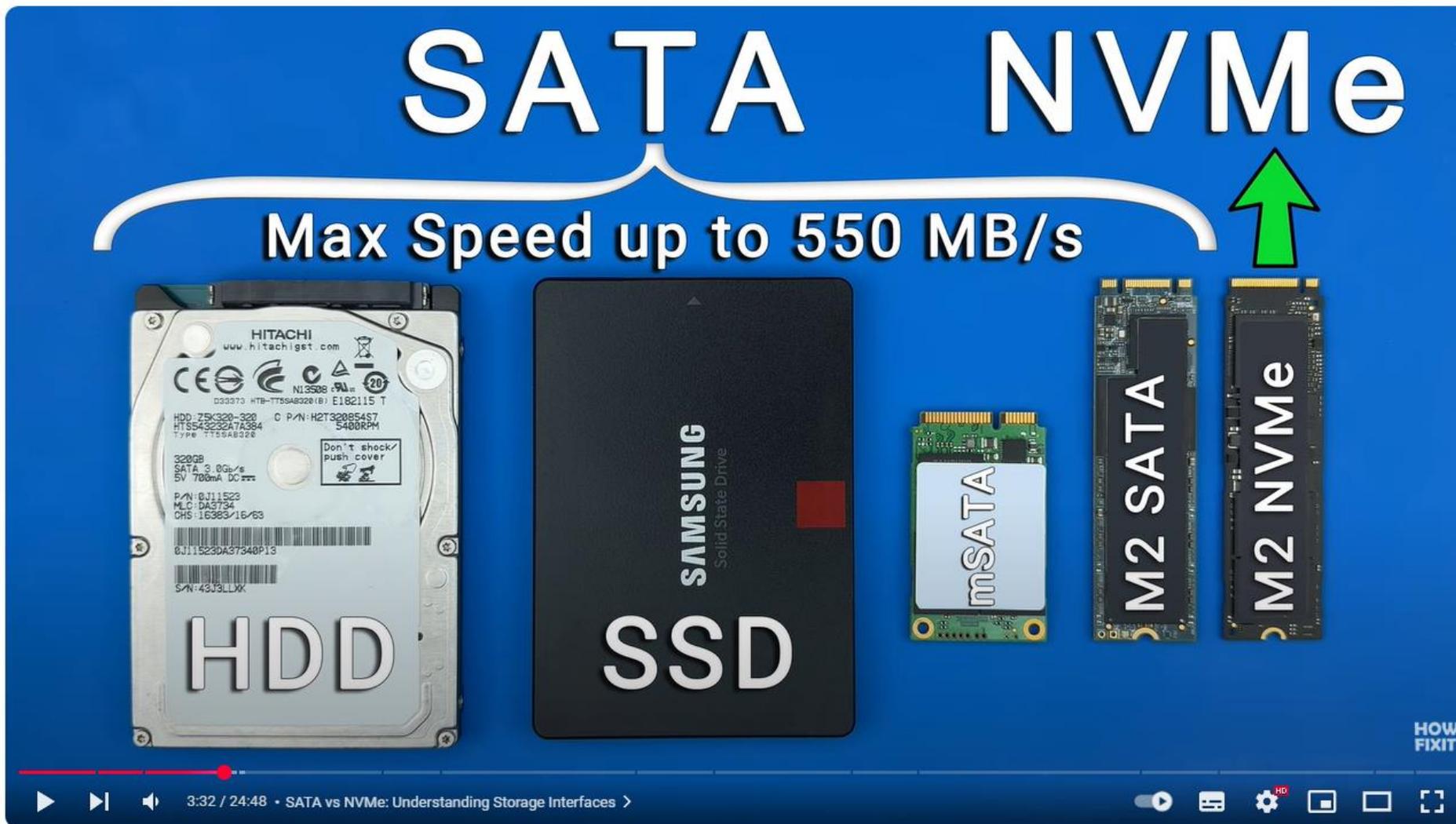
Разъёмы ssd дисков - интерфейс подключения ide sata micro msata m.2 ngff nvme pci-e slimline ahci (2018) <https://www.youtube.com/watch?v=L42j75rMoMY>



Про PCIe 5.0 SSD - все "ЗА" и "ПРОТИВ"(2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=TSHXkL50Kww>



Различные типы твердотельных накопителей M2 SATA или NVME (2022)
Different Types of M2 SSD SATA or NVME (2022)
https://www.youtube.com/watch?v=3Dv_OrHY6lw



SSD vs HDD vs NVMe vs SATA vs mSATA vs M2: Storage Devices EXPLAINED!(2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=r3Jy5dHOj3g>

HDD



Use magnet-coated platters to save data

Contain moving parts

Cheaper than SSD

Available in bigger sizes

SSD



Use integrated circuits to save data

Do not contain any moving parts

Expensive than HDD

Available in normal sizes

NVMe SSD



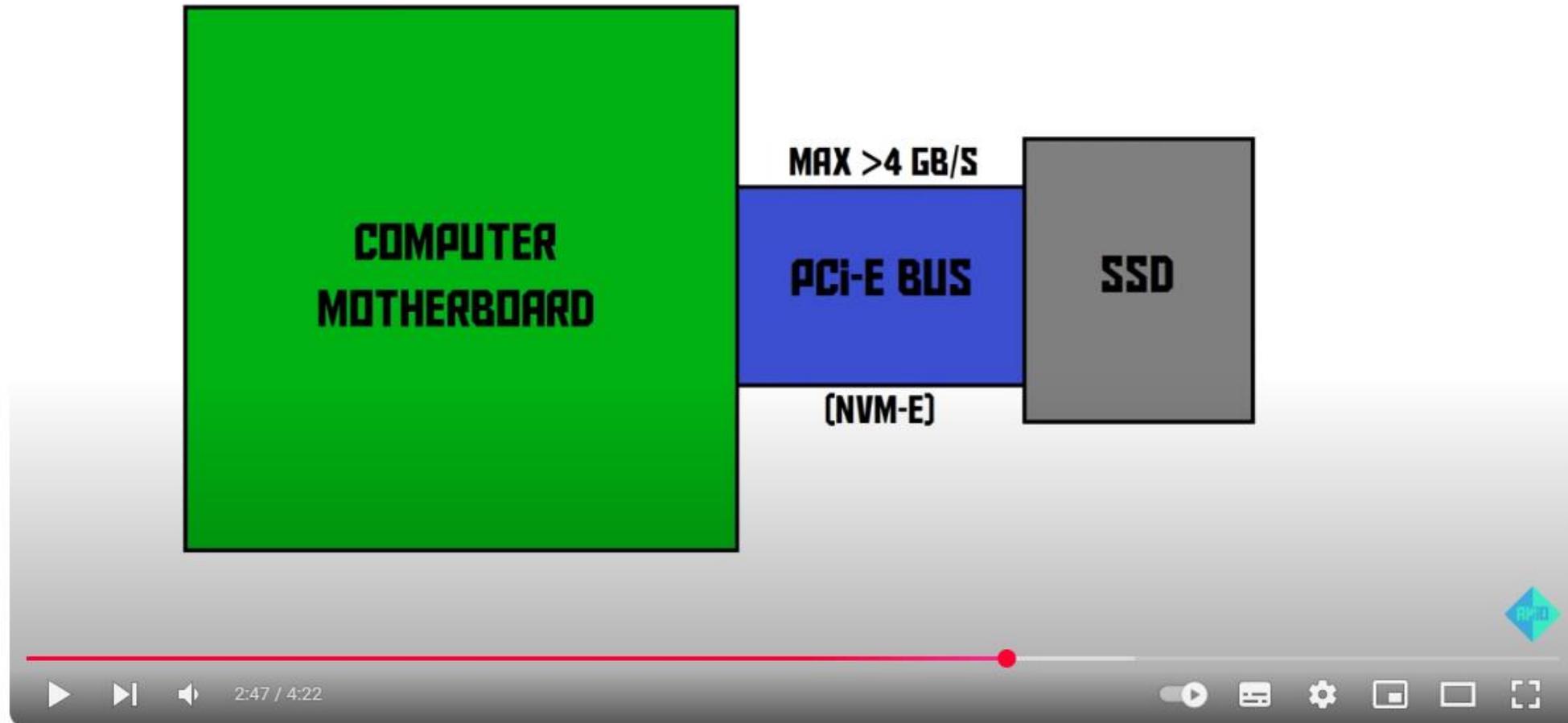
Use integrated circuits to save data

Do not contain any moving parts

Expensive than SSD

Available in small sizes

Типы жестких дисков | SCSI, SATA, PATA, NVMe | BIOS и UEFI | MBR и GPT Объясняются примерами (2023)
Hard Disk Types | SCSI, SATA, PATA, NVMe | BIOS and UEFI | MBR and GPT Explained with Examples (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=YAjwQNgWcus&t=19s>



What is NVMe? (AKIO TV) (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=HDvV7C8-UKs>

SATA Express (SATAe)

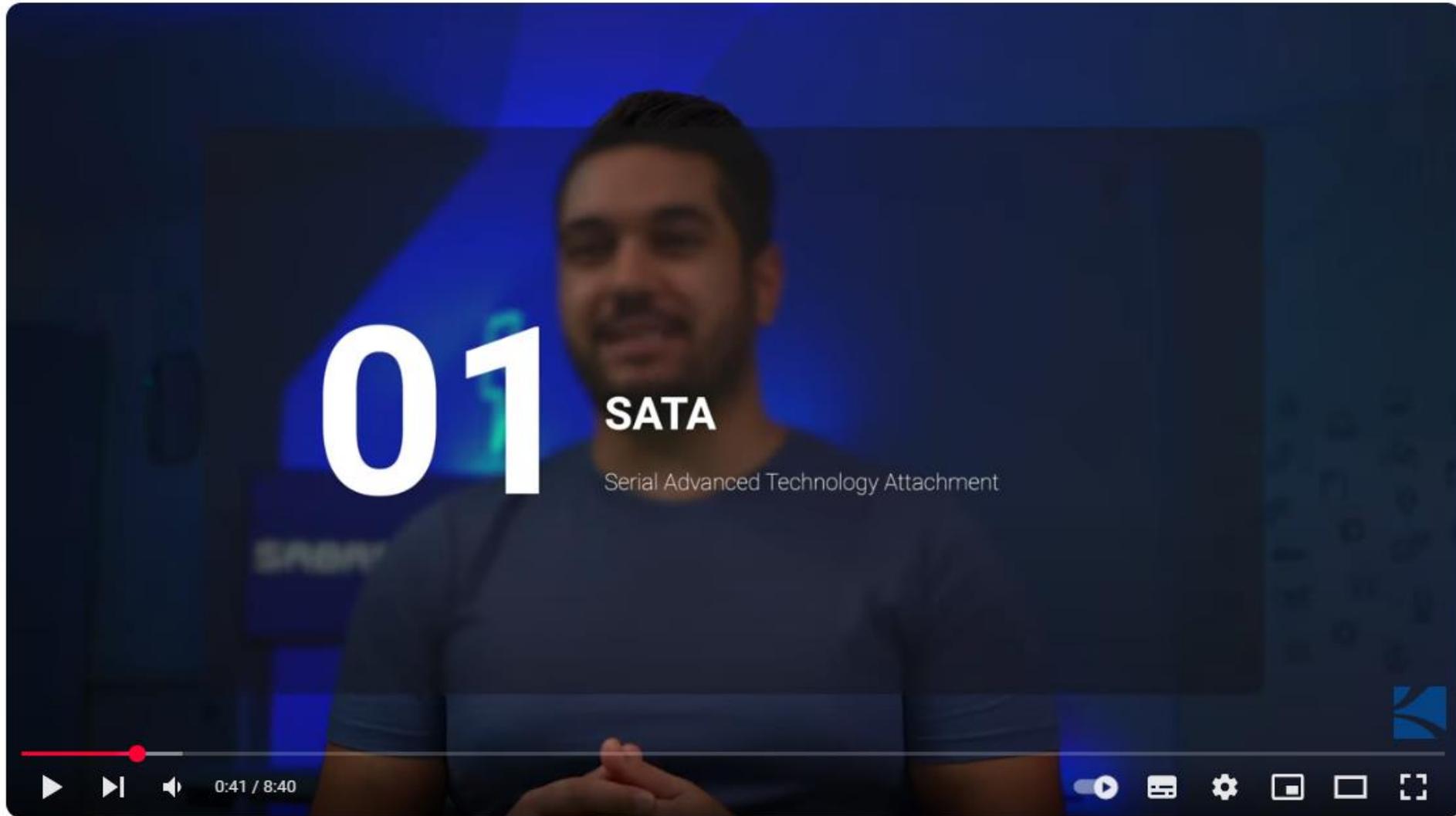
- Connects directly to PCIe



PCI Express version	Introduced	Transfer speed	Encoding	Throughput
PCI Express 1	2003	2.5 GT/s	8b/10b	250 MB/s
PCI Express 2	2007	5.0 GT/s	8b/10b	500 MB/s
PCI Express 3	2010	8.0 GT/s	128b/130b	984.6 MB/s
PCI Express 4	2017	16.0 GT/s	128b/130b	1969 MB/s
PCI Express 5	2019	32.0 GT/s	128b/130b	3938 MB/s
PCI Express 6	2021 (Estimate)	64.0 GT/s	128b/130b	7877 MB/s

SATA and eSATA (2021)

<https://www.youtube.com/watch?v=wLK8NYw6DVU>



SATA vs SAS VS PCIe | EXPLAINED (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=JJi-NGZeyxA>

YouTube 8:32



M.2 NVMe vs M.2 SATA vs mSATA | Explained (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=Tam7WCszUQU>

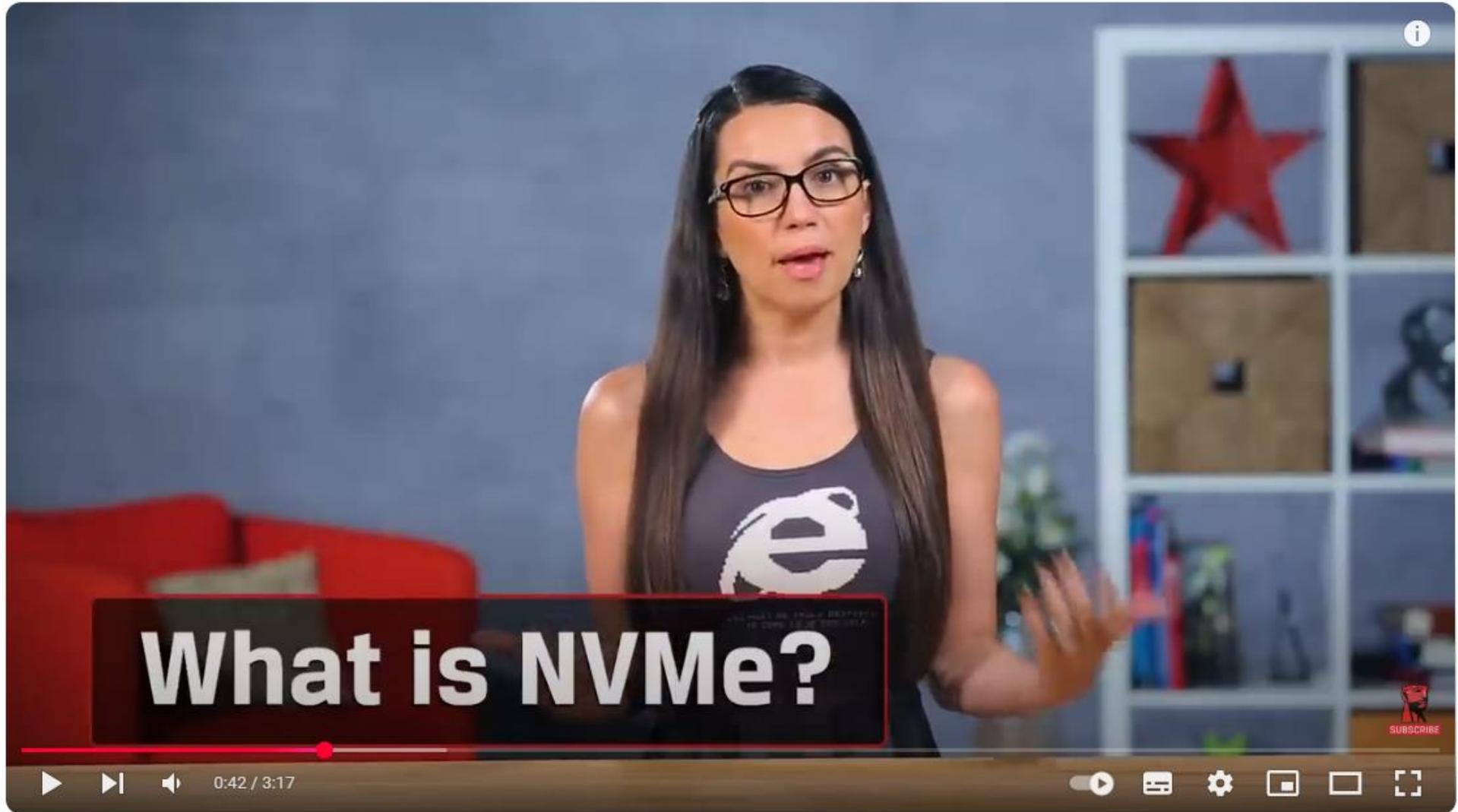


M.2 As Fast As Possible (2015)

https://www.youtube.com/watch?v=opwON-7J_wl

The video player displays a woman with long dark hair and glasses, wearing a white and black striped shirt, speaking. To her left is an inset image of a Kingston SA400M8 (A400 - M.2 2280) SSD. The video title is "What is an M.2 SSD?" and the progress bar indicates 0:47 / 4:13. The video player interface includes standard controls like play, volume, and full screen, along with a "SUBSCRIBE" button.

SATA M.2 SSD vs PCIe M.2 SSD - What's the difference? – DIY in 5 Ep 172 (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=8iNf8hRn1N0>

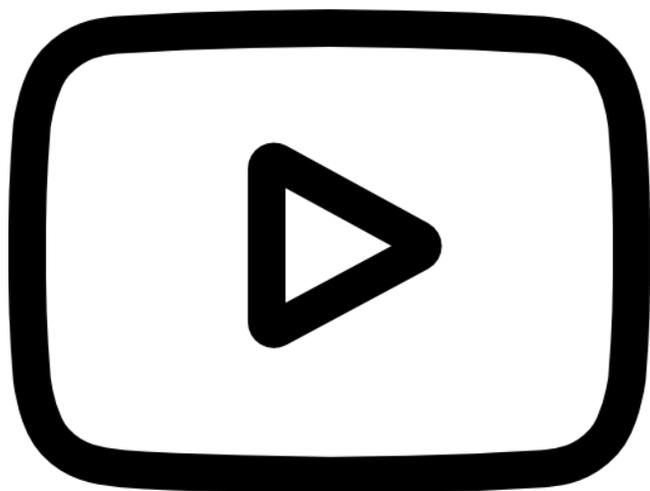


NVMe Storage Explained – DIY in 5 Ep 76 (2018)
https://www.youtube.com/watch?v=_LvXHZIQIZo



EDSFF E1 and E3 to Replace M.2 and U2/U3/2.5in SSDs in Data Centers (2021)

<https://www.youtube.com/watch?v=29Nh3p6779E>



SSD для Apple



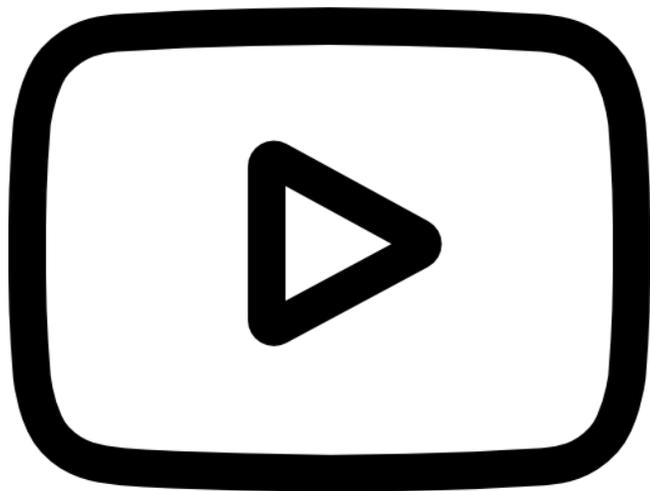
YouTube 7:37



Мой самый быстрый внешний SSD для Mac (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=-65vjqL8-TM>

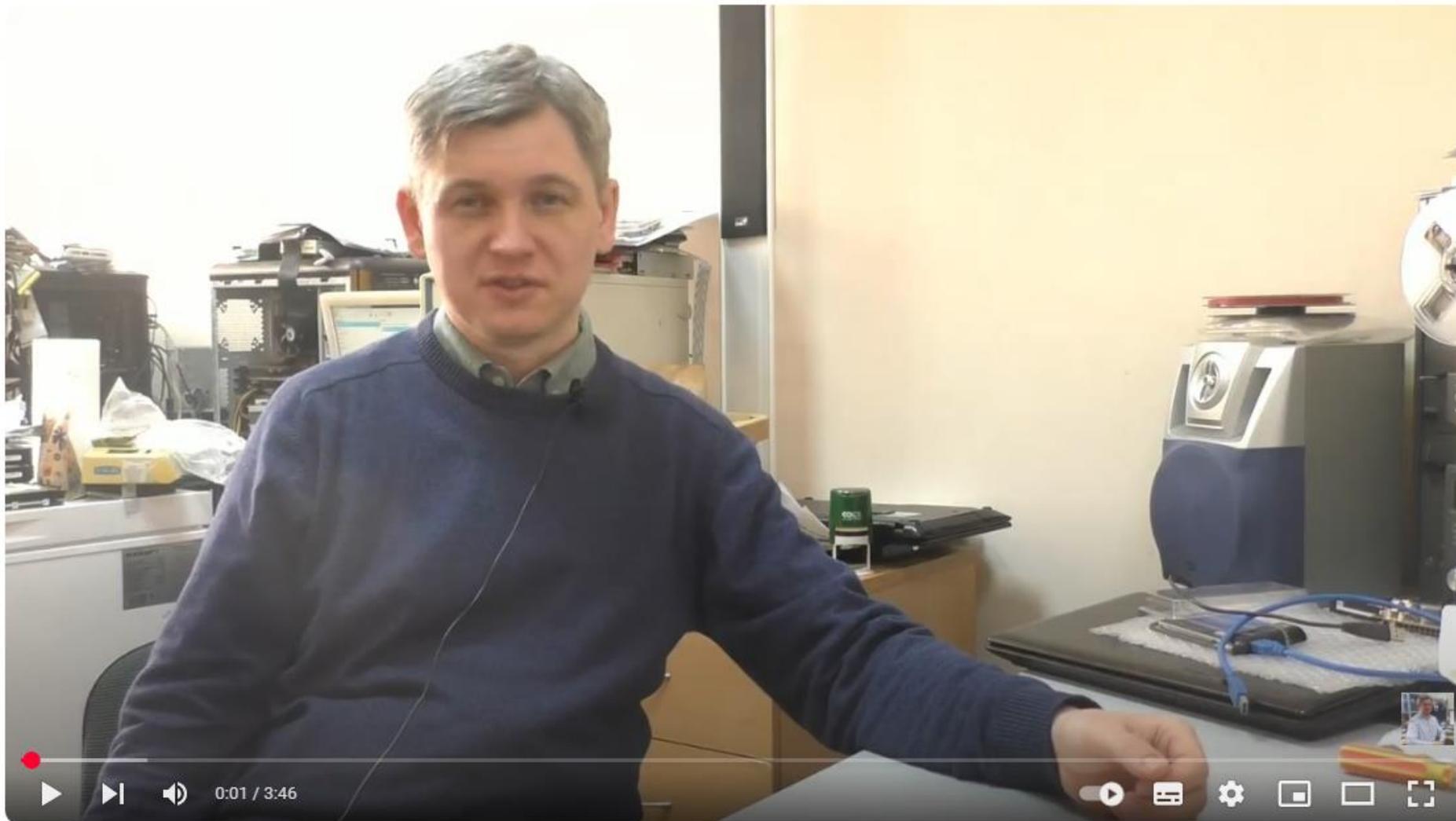


Работа на MacBook с внешним SSD. Мой опыт (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=oNvvoAPL7ok>

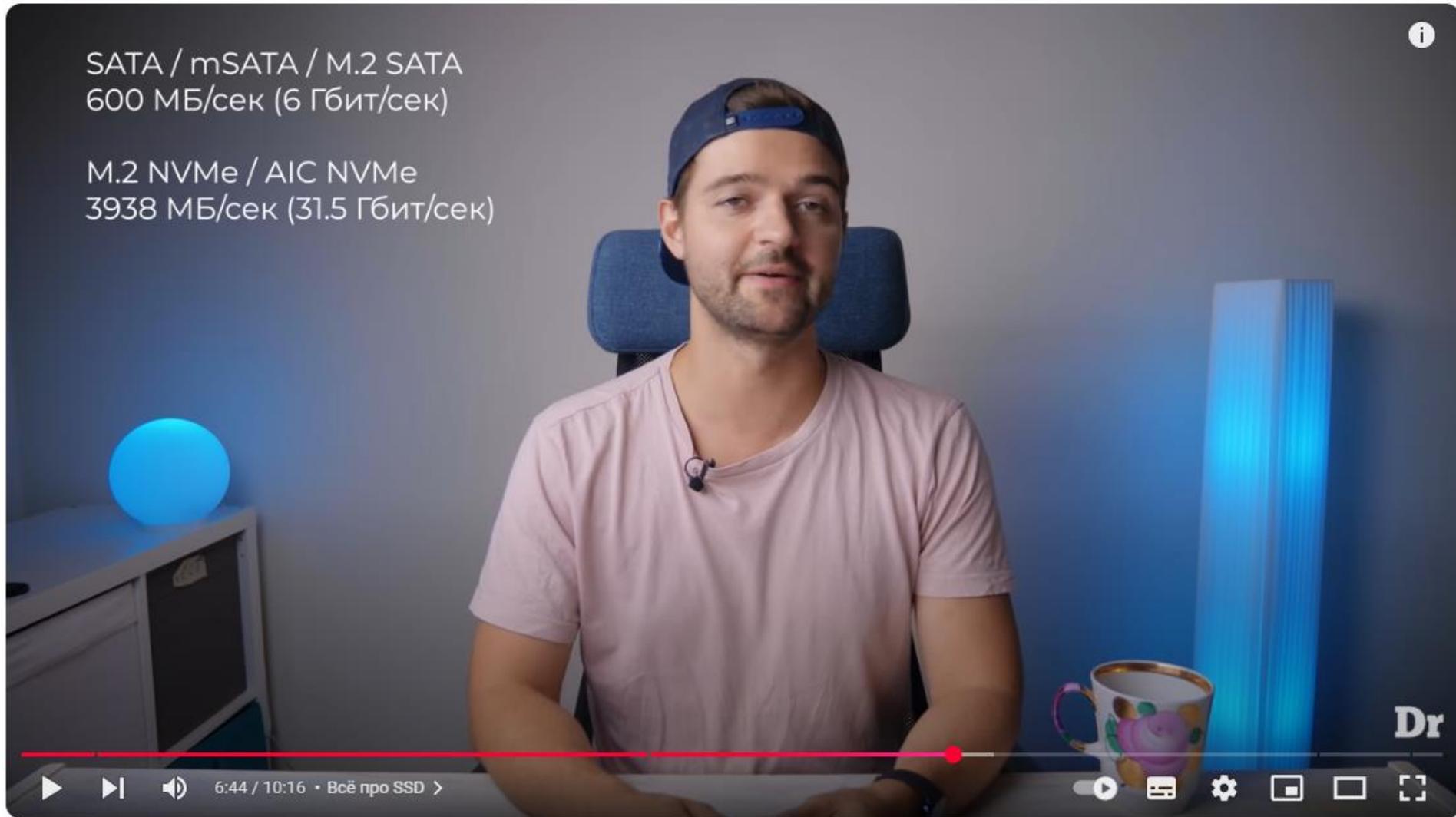


Сравнение, тесты HDD и SSD

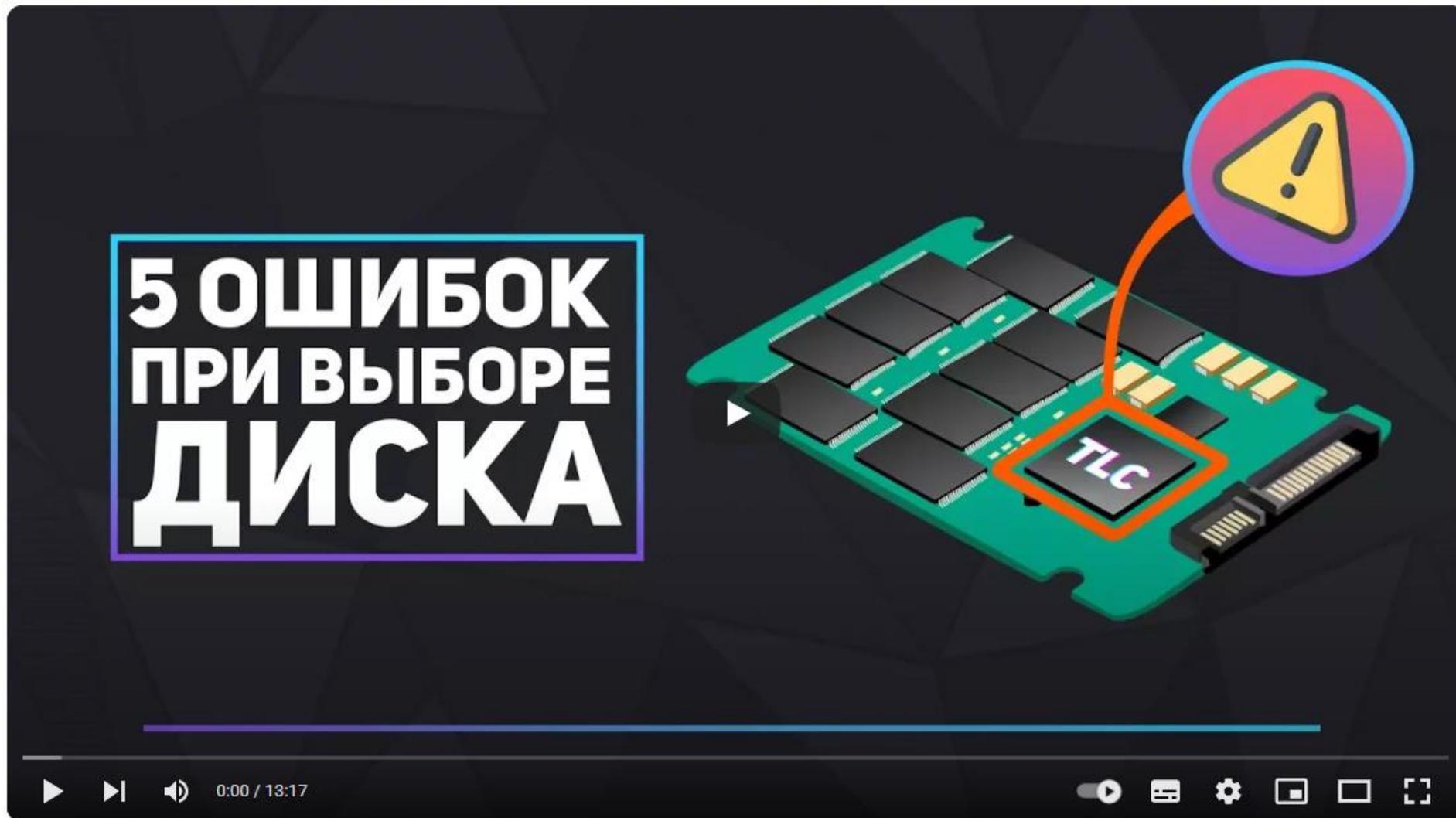




Что выбрать SSD или HDD? (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=-fqhVfd2CH8>



SSD vs HDD: Как это работает? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=61agcZlPpsg>



5 ошибок при выборе диска HDD\SSD. Какой SSD взять? (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=l27bFg0pWiM>



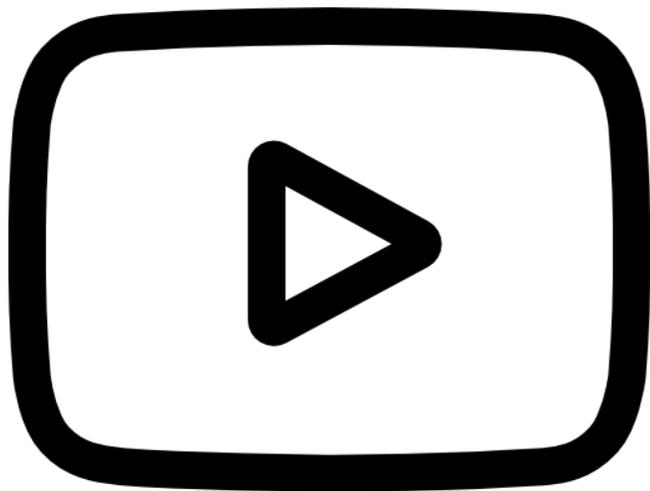
- ✓ Не боится трясок и ударов
- ✓ Высокая скорость чтения и записи
- ✓ Не подвержены размагничиванию
- ✗ Запись \ перезапись ограничена
- ✗ Боятся скачков напряжения
- ✗ Восстановление информации



- ✗ При тряске и ударах выход из строя
- ✗ Низкая скорость чтения и записи
- ✗ Боятся магнитных полей
- ✓ Запись \ перезапись не ограничена
- ✓ Не боятся скачков напряжения
- ✓ Восстановление информации



SSD или HDD плюсы и минусы (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=cDFQMk6NRY0>



Тестирование, диагностика, поломки SSD





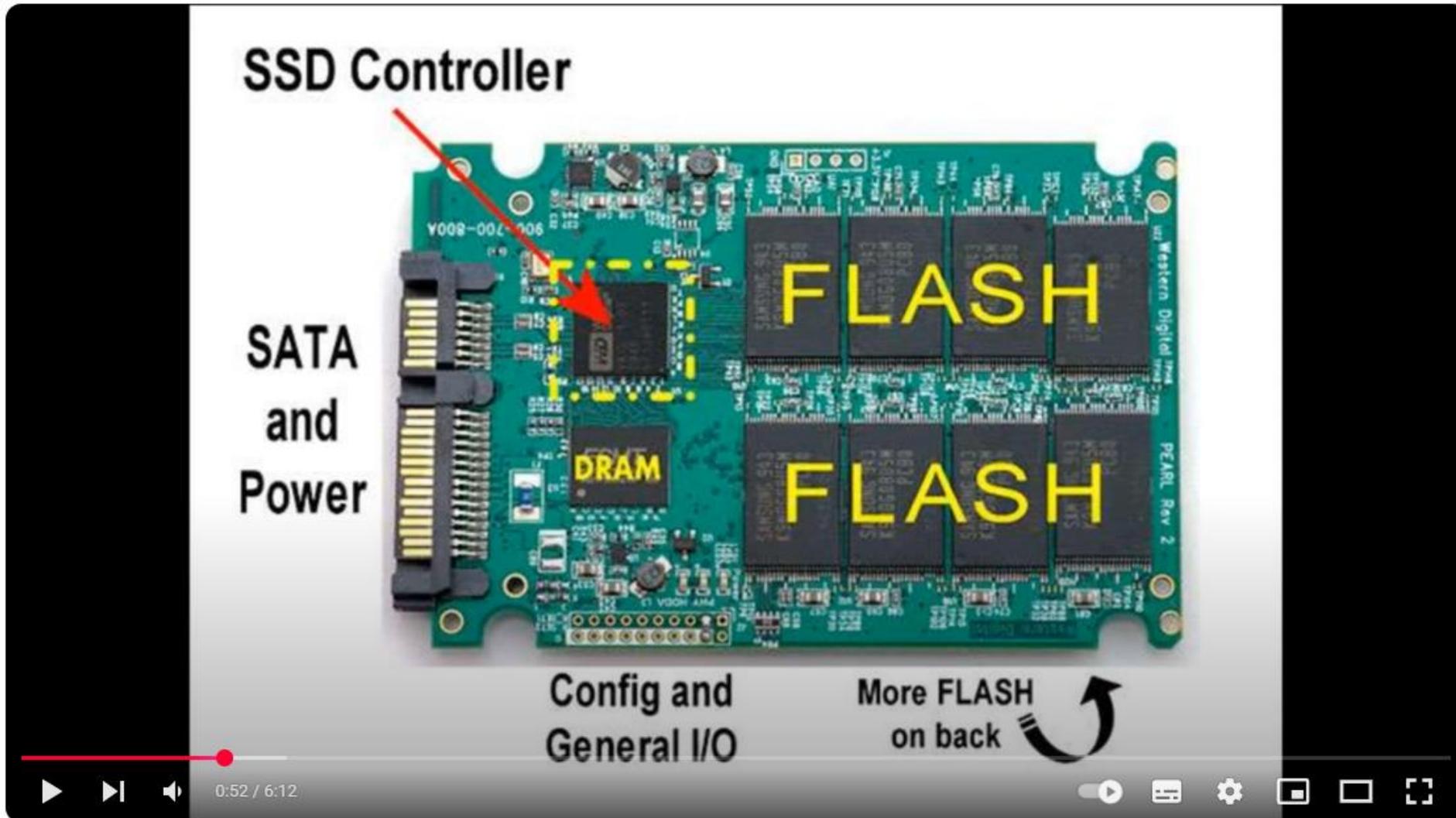
Ресурс современных SSD НЕ равно сохранность данных (2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=IX12kJx3ukQ>



Тест SSD на загрузке игр. Что даст дорогой SSD против дешевого? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=aFLWYmNNfYw>



Как проверить SSD на ошибки и узнать его состояние? (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=DHYDHhlqm7o>



Какой SSD выбрать для игр? Влияние SSD DRAM на производительность в играх (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=-NConCLxdtg>

A NEW DIMENSION OF STORAGE

Ready for your high performance computing needs, a WD Blue™ 3D NAND SATA SSD offers high capacity, enhanced reliability, and blazing speed.

High capacity with enhanced reliability

A WD Blue 3D NAND SATA SSD uses 3D NAND technology not only for higher capacities (up to 4TB in the 2.5" 7mm form factor) than the previous generation WD Blue SSDs, but also to help reduce cell-to-cell interference for enhanced reliability.

Superior Performance

3D NAND technology enables Sequential Read Speeds up to 560MB/s and Sequential Write Speeds up to 530MB/s.



0:50 / 7:14



Is Your SSD FAST Enough? (2019)
Достаточно ли быстро работает ваш SSD? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=omEm40clsl0>



НЕ покупайте эти NVME. Тест китайских SSD (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=1vOWzOLnO_I



Вся правда про ресурс современных SSD | SSD resource test 1 year (Kingston KC3000) (2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=LiJkYViXgWg>

Лонфа-а-а-аль!

	The witcher 3: Wild Hunt								
	First load, (s) (Первая загрузка, сек)			Second load, (s) (Повторный запуск, сек)			Reload location, (s) (Перезагрузка локации, сек)		
	Graphic settings (Настройки графики)			Graphic settings (Настройки графики)			Graphic settings (Настройки графики)		
	min	average	max	min	average	max	min	average	max
M2 SSD Samsung 970 EVO 1TB	18.01	19.12	25.78	18.54	19.03	24.48	19.21	18.87	25.33
SATA SSD Samsung 870 EVO 1TB	19.24	19.57	25.78	18.60	18.81	24.75	19.39	19.21	25.27
M2 SSD XPG SX8200 250GB	19.51	19.09	26.09	18.66	18.87	24.63	19.09	19.06	25.57
SATA SSD ADATA SU655 250GB	19.03	20.03	26.51	19.12	19.03	24.66	18.78	19.08	25.51

Ле Папильон: Ах, горе рыцарю! Шарлей навис огромной тушей,

1:52 / 19:08

M.2 NVMe vs SATA SSD | БОЛЬШОЙ ТЕСТ | Сравнение SSD (2022)

<https://www.youtube.com/watch?v=tKzPwAYMAaQ>

CrystalDiskInfo 6.10.0 x64

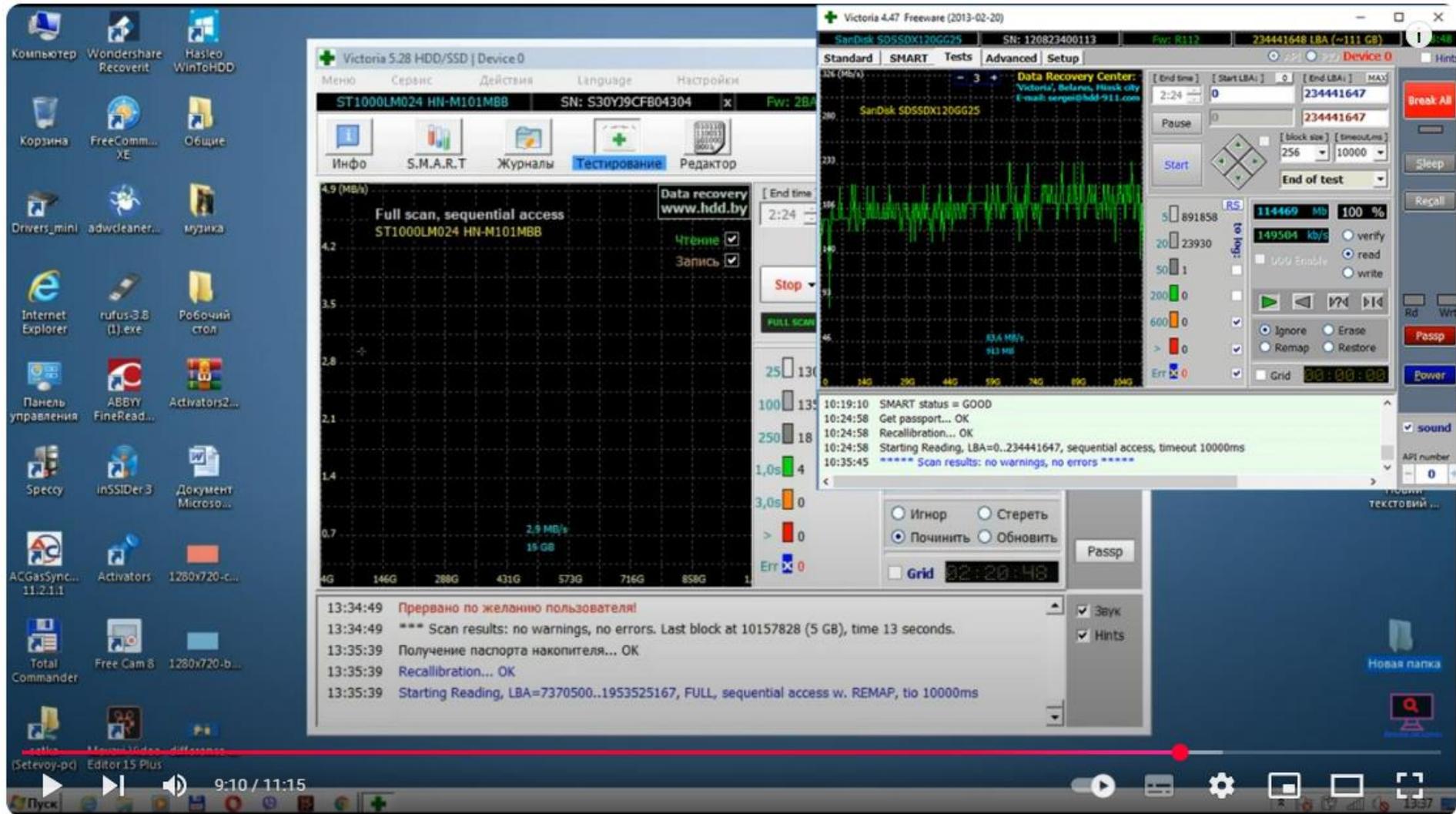
Хорошо
44 °C

KBG30ZMS256G NVMe TOSHIBA 256GB 256,0 GB

Текст состояния	Прошивка	ADDA0105	Всего хост-членов	3727 GB
Хорошо	Серийный номер	298PCBZ4P89N	Всего хост-записей	2743 GB
96 %	Интерфейс	NVMe Express	Скорость вращения	---- (SSD)
Температура	Режим передачи	PCIe 2.0 x2 PCIe 3.0 x2	Число включений	384 раз
44 °C	Буква тома	C: D:	Общее время работы	1750 ч
	Стандарт	NVMe Express 1.2		
	Возможности	S.M.A.R.T., TRIM, VolatileWriteCache		

ID	Атрибут	Значения
01	Критическое предупреждение	0
02	Составная температура	317
03	Доступный запас	100
04	Порог доступного запаса	50
05	Процент использования	4
06	Единицы данных - чтение	7817095
07	Единицы данных - запись	5752820
08	Команды хост-чтения	61193101
09	Команды хост-записи	72568994
0A	Время работы контроллера	394
0B	Включения/отключения	384
0C	Часы работы	1750
0D	Небезопасные отключения	246
0E	Ошибки целостности носителя и данных	0
0F	Записи в журнале информации об ошибках	2253

Срок службы SSD диска и как его продлить? (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=2RgQjW4-wrc>



Как проверить жесткий диск Victoria HDD/SSD для Windows 7, 8, 10? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=WL9SWqfQn50>



Возможности программы Victoria HDD/SSD - можно с ее помощью восстанавливать данные? (2023) https://www.youtube.com/watch?v=lqjo_9ZUejM

Sequential READ [Crystal Disk Mark]

NAME:	Read	
Crucial T705 2TB w Heatsink	14474	100.00%
Teamgroup T-Force Z540 2TB	12400	85.67%
Teamgroup T-Force Z540 1TB	11715	80.94%
ADATA Legend 970 2TB	9995	69.05%
Corsair MP700 1TB	9608	66.38%
Solidigm P44 Pro 2TB	7154	49.43%
Solidigm P44 Pro 1TB	7152	49.41%
Lexar NM800 Pro 1TB	7140	49.33%
Netac NV7000 1TB	7137	49.31%
Samsung 990 pro 1TB	7135	49.30%
Verbatim V17000G 2TB	7132	49.27%
Lexar NM790 4TB	7117	49.17%
Netac NV7000-T 2TB	7111	49.13%
Samsung 990 Evo Plus 2TB	7086	48.96%
Lexar NM790 1TB	7083	48.94%
Lexar NM790 2TB	7082	48.93%
Netac NV7000-T 1TB	7076	48.89%
Orico O7000 2TB	7051	
WD Black SN850x 4TB	6966	48.13%
KC3000 4TB	6963	48.11%
Firecuda 530 2TB	6962	48.10%
WD Black SN850x 1TB	6962	48.10%
Kingston Fury Renegade 1TB	6961	48.09%
Cardea A440 1TB	6960	48.09%
Netac NV7000 2TB	6940	47.95%
Samsung 980 Pro 2TB	6752	46.65%
WD Blue SN5000 4TB	5550	38.34%
WD SN770 2TB	5279	36.47%
WD SN770m 1TB	5255	36.31%
Samsung 990 EVO 2TB	5091	35.17%
Silicon Power US70 2TB	5011	34.62%
Cardea Z440 1TB	4935	34.10%
Sabrent Rocket 4.0 1TB	4914	33.95%
WD SN580 2TB	4336	29.96%
Solidigm P41 Plus 1TB	4187	28.93%
Solidigm P41 Plus 2TB	4067	28.10%
Samsung 980 1TB	3562	24.61%
T-Create Classic 1T	2563	17.71%
Samsung 19 4TB	2011	13.89%

0:41 / 23:58 Intro

Полное руководство по твердотельным накопителям на 2025 год
 Ultimate SSD Guide for 2025 - Don't buy the WRONG Storage! (2024)
https://www.youtube.com/watch?v=3f9hEn5_QZw



SSD диски: проблемы и восстановление данных

Василий Дорин

12 видео 15 896 просмотров Обновлено 28 февр...

Воспроизвес... Перемешать

1  1:25

Переставить микросхемы памяти с одного SSD на другой SSD диск

Василий Дорин • 7 месяцев назад • 9,2 тыс. просмотров

2  2:47

Для продления жизни SSD не заполнять его полностью?

Василий Дорин • 11 месяцев назад • 6,5 тыс. просмотров

3  6:40

Контроллер не является причиной неработоспособности SSD

Василий Дорин • 1 год назад • 3,9 тыс. просмотров

4  1:41:16

Стрим с proSSD ✨ Восстановление данных с SSD и HDD ✨ Ответы на вопросы

Василий Дорин • 1 год назад • 5,9 тыс. просмотров

5  5:04

Как продлить работоспособность SSD дисков? 🔥🔥🔥

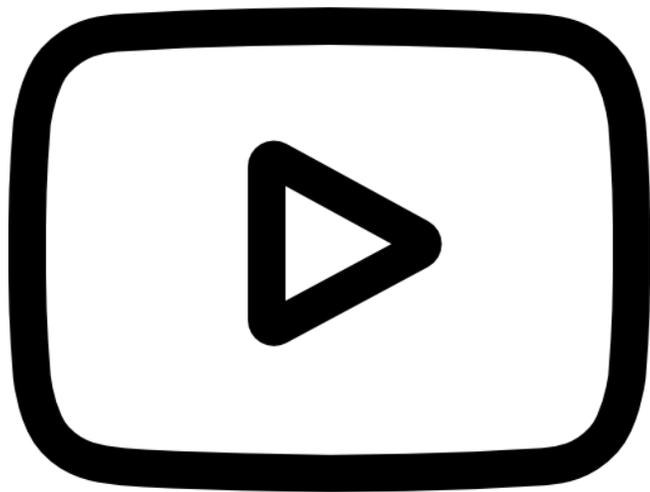
Василий Дорин • 1 год назад • 16 тыс. просмотров



🔥Перезалил. Почему SSD диски могут месяцами лежать на полках в магазинах?

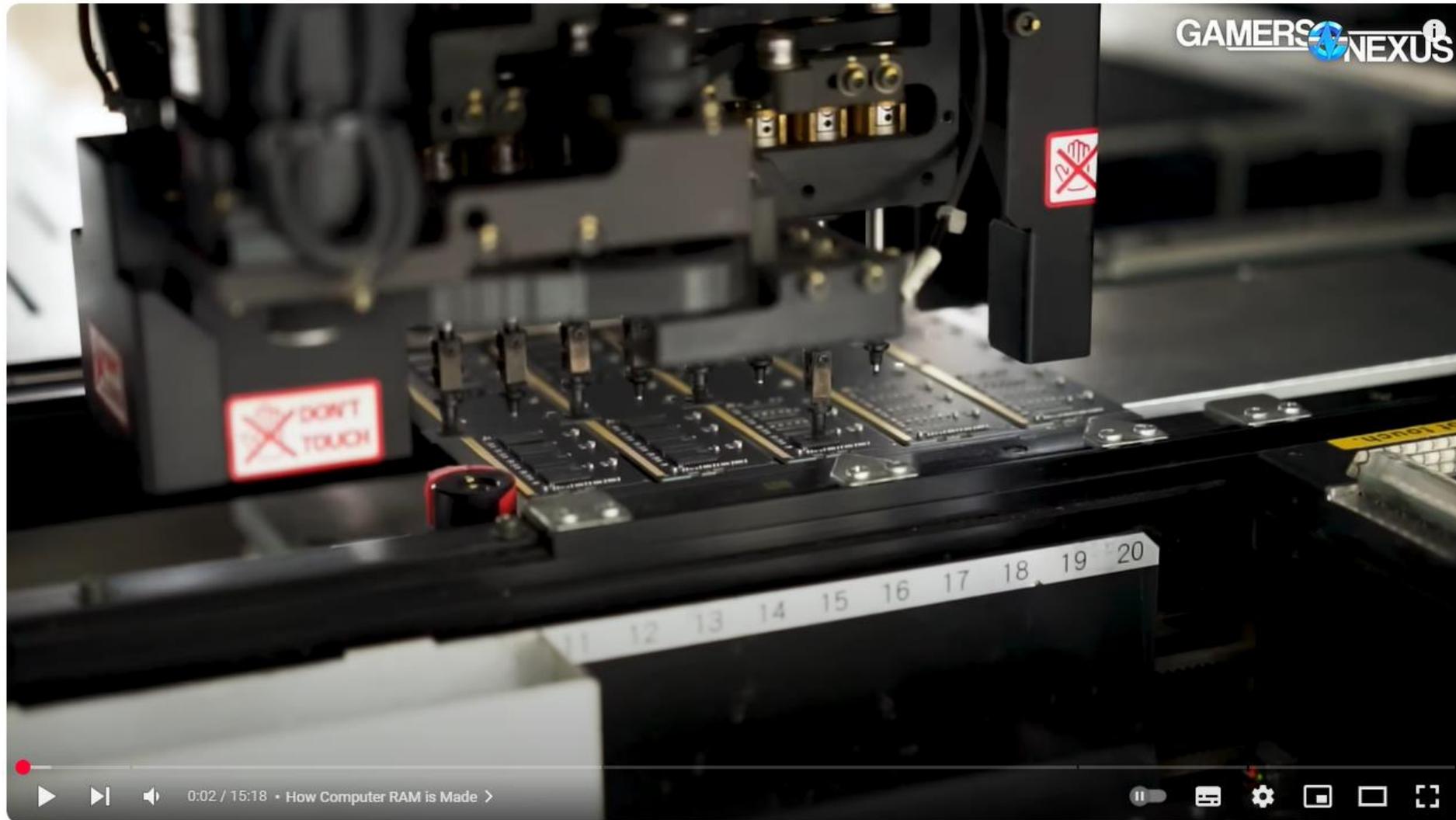
Василий Дорин • 1 год назад • 23 тыс. просмотров

Василий Дорин. SSD диски: проблемы и восстановление данных
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL7qrDPVPb1qX3ZCvFGW1POAPyrpIzdj9O>



**Производство
SSD, SD-карт,
Flash-накопителей,
чипов памяти**





How RAM is Made: Automated Binning, Manufacturing, & Burn-in Testing | Factory Tours S3E2 (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=---fHu9jFtw>



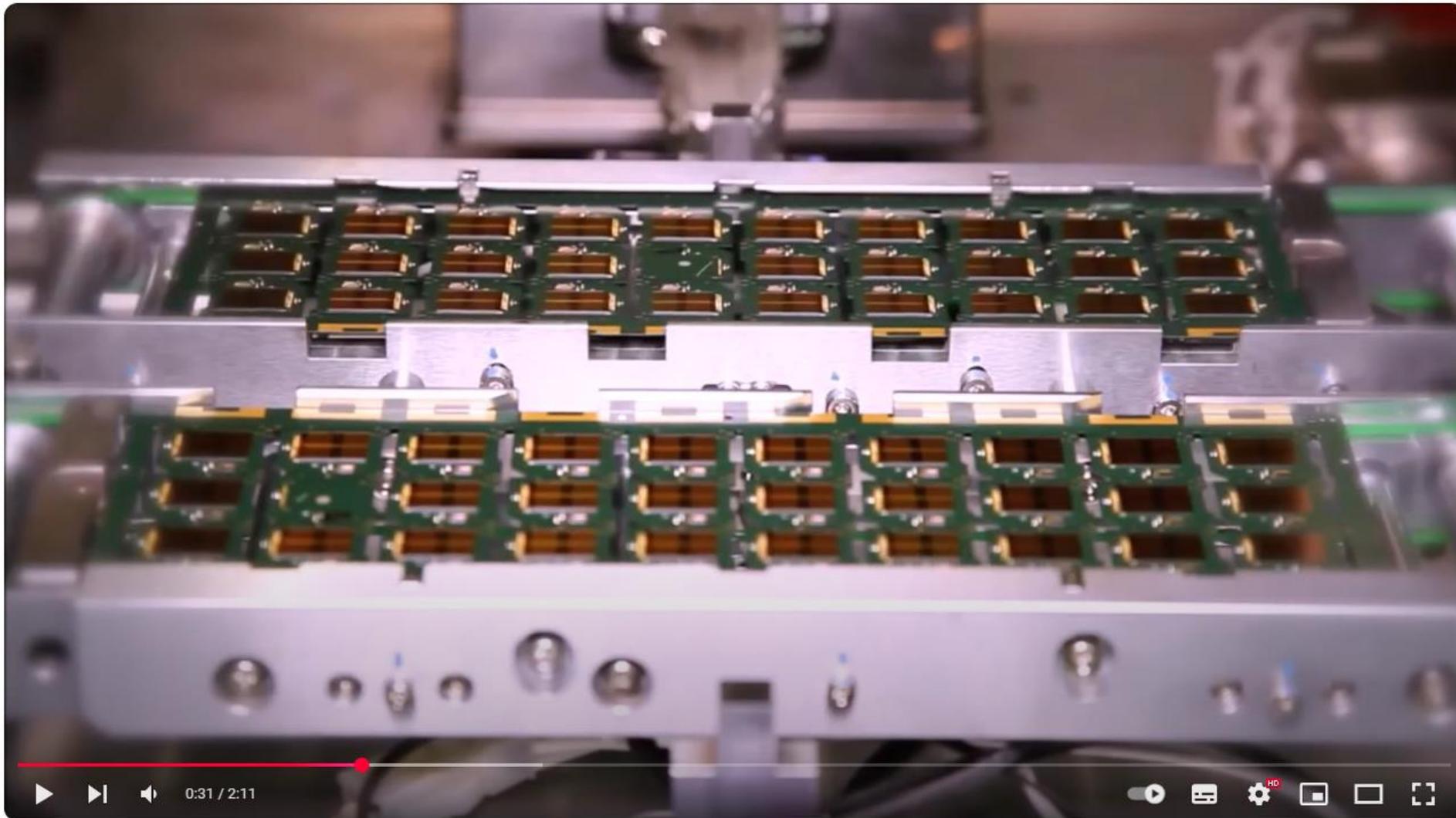
Topdisk: SSD Manufacturers, Best SSD Factory, USB Drive Manufacturers, USB Drive Factory. (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=jhXsddlXtqk>



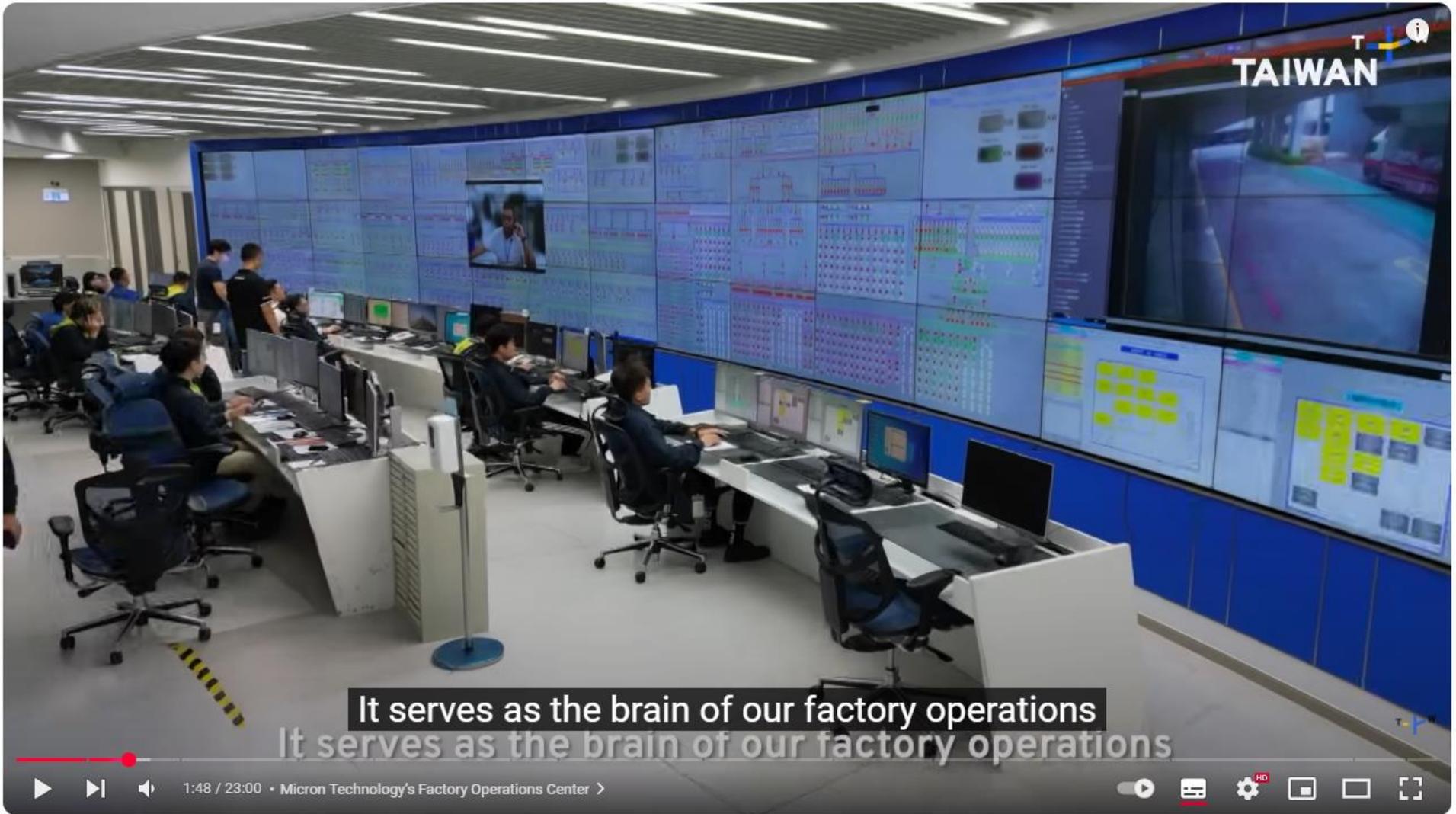
How's a USB Flash Drive Made? Trip to the Kingston Production Plant (2009)
https://www.youtube.com/watch?v=g_6mMFmes1s



Inside a USB Flash Drive Factory in China | How Pen Drives are Made | Manufacturing Memory Sticks (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=6swivo2GrgE>



How does a Custom memory card or USB Flash Drive produced in a chinese factory?(2020) <https://www.youtube.com/watch?v=Llzvl4o1KAI>



Inside Micron Taiwan's Semiconductor Factory | Taiwan's Mega Factories EP1 (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=WKHKy89QaV0>



ЭВМ, периферийные устройства и контроллеры

Тема: Накопители на твердотельной памяти

Благодарю за внимание

КУТУЗОВ Виктор Владимирович

Белорусско-Российский университет, Кафедра «Программное обеспечение информационных технологий»

Республика Беларусь, Могилев, 2025

Список использованных источников

1. Рабочая программа дисциплины «ЭВМ, периферийные устройства и контроллеры» для студентов направлений подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника» и 09.03.04 «Программная инженерия» / Прудников В.М. – Могилев : Белорусско-Российский университет, 2023
2. Фотографии и картинки взяты с сайтов Яндекс.Картинки и Гугл.Картинки, иконки с flaticon.com
3. Отдельная информация генерировалась при помощи LLM: Deepseek-V3-FW, GPT-4o, GPT-4o-Mini-128k, Llama-3-70b-Groq, Gemini-2.0-Flash, PHIND-70B, perplexity. Вся сгенерированная информация многократно перепроверялась и дополнялась с интернет ресурсов.
4. **Периферийные устройства ЭВМ. Внешние запоминающие устройства** : учебное пособие для вузов / В. М. Прудников, В. В. Кутузов. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 182 с. <https://urait.ru/bcode/556103>
5. Введение в SSD. Часть 4. Физическая <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/491264/>
6. Особенности работы современных SSD-дисков <https://compress.ru/article.aspx?id=21619>
7. NVMe или M.2 или SATA - в чем разница при выборе SSD <https://www.how-fixit.in.ua/stati/nvme-m2-sata-ssd.html>
8. Организация памяти <https://slaidy.com/api/?task=pdf&id=843987>
9. Различия между типами памяти SLC, MLC, TLC и 3D NAND в USB-накопителях, твердотельных накопителях и картах памяти <https://www.kingston.com/unitedkingdom/ru/blog/pc-performance/difference-between-slc-mlc-tlc-3d-nand>

Список использованных источников

10. Выбор флэш-памяти для промышленных приложений
https://elcomdesign.ru/netcat_files/File/72.pdf
11. Как на microSD помещается 1 ТБ? — Разбор
<https://habr.com/ru/companies/droider/articles/524830/>
12. NAND Flash memory. Samsung Electronics, co., Ltd - Flash design team - 2010. 05. 07 - Kihwan Choi
<https://www.terpconnect.umd.edu/~blj/CS-590.26/nand-presentation-2010.pdf>
13. NAND Flash 101. EBOOK. ATP Electronics Taiwan Inc.
<https://www.simms.co.uk/Uploads/Resources/50/f4366381-b992-425a-bec4-cca409b51a6c.pdf>
14. Вспомнить всё. Разбираемся в полупроводниковой памяти
<https://habr.com/ru/articles/535552>
15. Du, Pei-Ying; Lue, Hang-Ting; Shih, Yen-Hao; Hsieh, Kuang-Yeu; Lu, Chih-Yuan . (2014). [IEEE 2014 IEEE 12th International Conference on Solid -State and Integrated Circuit Technology (ICSICT) - Guilin, China (2014.10.28-2014.10.31)] 2014 12th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT) - Overview of 3D NAND Flash and progress of split-page 3D vertical gate (3DVG) NAND architecture., 1–4. doi:10.1109/icsict.2014.7021429 <https://wellesu.com/10.1109/icsict.2014.7021429>
16. Micheloni, Rino; Aritome, Seiichi; Crippa, Luca . (2017). Array Architectures for 3-D nand Flash Memories. Proceedings of the IEEE, (), 1–16. doi:10.1109/JPROC.2017.2697000
<https://wellesu.com/10.1109/JPROC.2017.2697000>
17. SISPAD 2021 Plenary Talk Memory Technology 2021: Trends & Challenges Jeongdong Choe TechInsights, Ottawa, Canada <https://in4.iue.tuwien.ac.at/pdfs/sispad2021/P03.pdf>

Список использованных источников

18. Comparison of Current 3D NAND Chip & Cell Architecture. Jeongdong Choe Senior Technical Fellow, TechInsights - Flash Memory Summit 2019 Santa Clara, CA
https://files.futurememorystorage.com/proceedings/2019/08-07-Wednesday/20190807_FTEC-202-1_Choe.pdf
19. 112-слойная 3D NAND флеш-память компании Transcend
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/112-layer-3d-nand-flash>
20. Technology Views on 3D NAND Flash: Current and Future 1 Jeongdong Choe Senior Technical Fellow, TechInsights, 2019 https://www.chipmanufacturing.org/1-A2-Short%20version%20for%20Publish_IWAPS%202019_Jeongdong%20Choe_TechInsights_3D%20NAND_F_s.pdf
21. 3D NAND Current, Future, and Beyond (Jeongdong Choe Ph. D.) Santa Clara, CA, November 2020
https://borecraft.com/files/3D_NAND_Current_Future_and_Beyond.pdf
22. Lee, Geun Ho, Sungmin Hwang, Junsu Yu, and Hyungjin Kim. 2021. "Architecture and Process Integration Overview of 3D NAND Flash Technologies" Applied Sciences 11, no. 15: 6703.
<https://doi.org/10.3390/app11156703>
<https://www.mdpi.com/2076-3417/11/15/6703>
23. Онлайнер - Карты памяти
<https://catalog.onliner.by/memcards>
24. Выбираем флеш-карты: подробное руководство по разновидностям Secure Digital
<https://habr.com/ru/companies/wd/articles/495796/>
25. Технические документы Ассоциации SD
https://www.sdcard.org/downloads/pls/latest_whitepapers/

Список использованных источников

26. Руководство по классам скорости для карт памяти SD и microSD
<https://www.kingston.com/unitedkingdom/ru/blog/personal-storage/memory-card-speed-classes>
27. Kingston. Руководство по типам карт SD и microSD
<https://www.kingston.com/unitedkingdom/ru/blog/personal-storage/microsd-sd-memory-card-guide>
28. SD Express Speed Class – As introduced in SD 9.1 Specification White Paper (Oct. 20, 2023)
https://www.sdcard.org/cms/wp-content/uploads/2023/10/SDExpressSpeedClassSD9_1Specification.pdf
29. SD Express memory cards to serve as a removable Solid State Drives (Publish date: 2023-06-21)
<https://indentureships.netlify.app/sd-express-memory-cards-to-serve-as-a-removable-solid-state-drives/>
30. New SD Express Specifications Introduce New Speed Classes and Next-Level Performance Features (October 27, 2023) <https://www.sdcard.org/press/thoughtleadership/sd-9-1-specification-introduces-new-speed-classes-and-next-level-performance-features-2/>
31. Samsung анонсировала карты памяти SD Express microSD, которые быстрее SATA SSD (28.02.2024)
<https://3dnews.ru/1100959/samsung-anonsirovala-novie-karti-pamyati-microsd-so-skorostyu-chteniya-do-800-mbayts-i-obyomom-do-1-tbayt>
32. SD Memory Card Choices with SD/SDA Logos (Выбор карт памяти SD с логотипами SD/ SDA)
<https://www.sdcard.org/consumers/about-sd-memory-card-choices/>
33. Onliner.by USB Flash
<https://catalog.onliner.by/usbflash>
34. USB-флеш-накопитель
<https://znanierussia.ru/articles/USB-флеш-накопитель>

Список использованных источников

35. Эволюция твердотельных накопителей: от первых моделей 70-х до наших дней
<https://habr.com/ru/companies/wd/articles/344062/>
36. Nimbus ExaDrive DC EDDCT100 Specifications
<https://nimbusdata.com/products/exadrive/specifications/>
37. This 100TB SSD Costs \$40,000
<https://www.youtube.com/watch?v=ZFLiKClKKhs>
38. SSD в серверах и некоторые принципы
https://ko.com.ua/ssd_v_serverah_i_nekotorye_principy_117675
39. Официальный сайт JEDEC
<https://www.jedec.org>
40. Каталог Onliner \ Компьютеры и сети \ Хранение данных \ SSD
<https://catalog.onliner.by/ssd>
41. SAS-накопители: чем отличаются от обычных и нужны ли в ПК?
42. <https://club.dns-shop.ru/blog/t-107-jestkie-diski/86963-sas-nakopiteli-chem-otlichautsya-ot-obyichnyih-i-nujnyi-li-v-pk/>
43. Введение в SSD. Часть 3. Форм-факторная
<https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/488230/>
44. Зачем устанавливать в компьютер 2 SSD-накопителя и что от этого меняется
<https://habr.com/ru/companies/x-com/articles/759274/>

Список использованных источников

45. Объясняем на примерах, в чем разница между NGFF и NVMe
<https://wcloud.ru/klientam/blog/v-chem-raznicza-mezhdu-ngff-i-nvme>
46. Устройство и характеристики жесткого диска и SSD
https://www.chaynikam.info/stat_hdd.html
47. SSD: устройство, компоненты и принципы работы
<https://dtf.ru/hard/46510-ssd-ustroistvo-komponenty-i-principy-raboty>
48. Как собрать компьютер самому. Подробный гайд по сборке ПК для новичков с нуля v3.0.
<https://www.youtube.com/watch?v=L9ZwCLNAW4A>
49. M.2 (NGFF) connector pins and signals
https://pinoutguide.com/HD/M.2_NGFF_connector_pinout.shtml
50. M.2 адаптер DeLOCK Adap. Key SFF-8643 NVMe – vertical
https://www.photopoint.ee/ru/komponenty/1237113-delock-adap-key-sff-8643-nvme-vertical#specifics_tab
51. SAS / SATA / NVMe Storage Adi Gangidi Sr. Systems Design Engineer, Rackspace Rackspace Barreleye G2 48V OpenPOWER Platform
<https://www.opencompute.org/files/OCP-Trimode-Presentation-Final.pdf>
52. Samsung NGSFF SSD
https://download.semiconductor.samsung.com/resources/data-sheet/Whitepaper_Samsung_NGSFF_SSD_1809.pdf
53. Ультрасовременные накопители от Innodisk с форм-фактором EDSFF
<https://ipc2u.ru/news/innovation/ultrasovremennye-nakopiteli-ot-innodisk-s-form-faktorom-edsff/>
54. E1 and E3 EDSFF to Take Over from M.2 and 2.5 in SSDs
<https://www.servethehome.com/e1-and-e3-edsff-to-take-over-from-m-2-and-2-5-in-ssds-kioxia/>

Список использованных источников

55. Флэш-диски Server DOM
<https://t-automation.by/components/flash-ssd/server-dom/>
56. Полное руководство по оригинальным SSD-накопителям Apple
<https://appleinsider.ru/hardware/polnoe-rukovodstvo-po-originalnym-ssd-nakopitelyam-apple.html>
57. Замена SSD на любом ноутбуке apple macbook
<https://azbuki.by/remont/remont-noutbukov-apple/zamena-ssd-na-lyubom-noutbuke-apple-macbook/>
58. Разъемы SSD / HDD и других устройств хранения данных - HDD and other storage devices connectors pinouts <https://pinoutguide.com/HD/>
59. Как устроен SSD — разбираемся в деталях
<https://club.dns-shop.ru/blog/t-101-ssd-nakopiteli-2-5/53419-kak-ustroen-ssd-razbiraemsysya-v-detalyah/>
60. Виды SSD
<https://fadelto.github.io/types.html>
61. Прокачиваем сервер: SAS SSD против SATA- и NVMe SSD
https://habr.com/ru/companies/kingston_technology/articles/537856/
62. Различия интерфейсов SATA, SAS и NVMe для серверных SSD накопителей
<https://serverflow.ru/blog/stati/razlichiya-interfeysov-sata-sas-i-nvme-dlya-servernykh-ssd-nakopiteley/>
63. Сравнение NVMe M.2 с SATA M.2
<https://697.by/kak-zamenit-zhestkij-disk-ili-ssd-kompyutera/cravnenie-nvme-m-2-s-sata-m-2>
64. Чем отличаются новые поколения NVMe – обзор от Gen 3 до Gen 7
https://webznam.ru/blog/novye_pokolenija_nvme/2024-02-02-2452

Список использованных источников

65. Форм-фактор E3, SFF-TA-1008
<https://nvme.smb-solution.ru/e3-sff-ta-1008/>
66. SFF Specifications
https://www.snia.org/technology-communities/sff/specifications?field_doc_status_value=All&combine=1002&items_per_page=20
67. Samsung SSD PM1743. A PCIe® 5.0 Storage Solution for the Data-Centric Era
https://download.semiconductor.samsung.com/resources/white-paper/PM1743_White_Paper_240510.pdf
68. Твердотельные накопители. Внутреннее устройство и принципы их построения
<https://habr.com/ru/companies/dsol/articles/504380/>
69. Как работает SSD - устройство, для чего нужен контроллер
<https://andiriney.ru/kak-rabotaet-ssd/>
70. Understanding Flash: Blocks, Pages and Program / Erases
<https://flashdba.com/2014/06/20/understanding-flash-blocks-pages-and-program-erases/>
71. SLC-режим <https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/slc-mode>
72. Технология Over-Provisioning
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/over-provisioning>
73. Кеш из топора. Как производители SSD обманывают тесты и покупателей
<https://xakep.ru/2024/12/19/pslc-problems/>
74. Тестирование производительности флэш-памяти NAND
<https://russianelectronics.ru/nand/>

Список использованных источников

75. What Are QLC, DRAM Cache and SLC Cache? (Part 2)
<https://www.teamgroupinc.com/community/ru/blog-detail/ssd-cache/>
76. Повышение живучести SSD за счёт его превращения из QLC в SLC
<https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/816463/>
77. Как потратить своё время и ресурс SSD впустую? Легко и просто
https://habr.com/ru/companies/kingston_technology/articles/453376/
78. Важные параметры скорости SSD, о которых вы могли не знать
<https://club.dns-shop.ru/blog/t-101-ssd-nakopiteli-2-5/115242-vajnyie-parametryi-skorosti-ssd-o-kotoryih-vyi-mogli-ne-znat/>
79. Как твердотельные диски хранят данные?
<https://ru.transcend-info.com/Embedded/Essay-50>
80. Understanding DRAM Cache in SSDs: Boosting Speed, Reliability, and Efficiency
<https://www.ssstc.com/knowledge-detail/dram-cache-in-ssds-explained/>
81. DRAM vs. DRAM-less SSDs
https://industrial.adata.com/en/edm/DRAM_DRAMless_SSD
82. Контроллеры SSD
<https://andiriney.ru/kontrollery-ssd/>
83. Накопители информации с твердотельными носителями информации (SSD): особенности применения
<https://wiki.astralinux.ru/pages/viewpage.action?pageId=48759308>

Список использованных источников

84. How does FTL algorithm the core SSD technology affect SSD?
<https://www.diskmfr.com/how-does-ftl-algorithm-the-core-ssd-technology-affect-ssd/>
85. IOPS
<https://ru.wikipedia.org/wiki/IOPS>
86. Как выбрать SSD: полный гайд по накопителям для ПК
<https://t-j.ru/guide/ssd-choosing/>
87. Trim (команда для накопителей)
[https://ru.wikipedia.org/wiki/Trim_\(команда_для_накопителей\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Trim_(команда_для_накопителей))
88. Особенности работы современных SSD-дисков
<https://compress.ru/article.aspx?id=21619>
89. Что такое TRIM в SSD, почему он может не работать «из коробки» и как включить
<https://club.dns-shop.ru/blog/t-101-ssd-nakopiteli-2-5/70792-cto-takoe-trim-v-ssd-pochemu-on-mojet-ne-rabotat-iz-korobki-i/>
90. Организация памяти
<https://slaidy.com/api/?task=pdf&id=843987>
91. Тестирование SSD на надёжность: 3dnews vs JEDEC vs здравый смысл. Где правда, брат?
<https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/478748/>
92. Вся правда о резервной области SSD, и нужна ли она вообще
<https://habr.com/ru/companies/ocz/articles/393131/>

Список использованных источников

93. Solid State Storage (SSS). Performance Test Specification (PTS). Version 2.0.2 (October 1, 2020)
<https://www.snia.org/sites/default/files/technical-work/pts/release/SNIA-SSS-PTS-2.0.2.pdf>
94. Поднимаем производительность SSD с колен, куда нажимать и зачем
https://habr.com/ru/companies/kingston_technology/articles/452180/
95. Garbage Collection and TRIM in SSDs Explained – An SSD Primer
<https://www.thessdreview.com/daily-news/latest-buzz/garbage-collection-and-trim-in-ssds-explained-an-ssd-primer/2/>
96. Работает ли TRIM или Deallocate в вашем SSD?
<https://www.outsidethebox.ms/15016/>
97. Цифровая криминалистика: PC-3000 SSD — как обойти TRIM.
<https://blog.ancelab.ru/cifrovaya-kriminalistika-pc-3000-ssd-kak-oboiti-trim.html>
98. Сборка Мусора (Garbage collection)
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/garbage-collection>
99. solid-state storage garbage collection
<https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/solid-state-storage-SSS-garbage-collection>
100. Как свободное место на SSD влияет на его производительность и срок службы
<https://www.outsidethebox.ms/14484/>
101. Write amplification
https://en.wikipedia.org/wiki/Write_amplification

Список использованных источников

102. Тестирование SSD на надёжность: 3dnews vs JEDEC vs здравый смысл. Где правда, брат?
<https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/478748/>
103. Чем накопители промышленного уровня отличаются от бытовых
<https://habr.com/ru/companies/x-com/articles/834116/>
104. Выравнивание износа (wear-leveling)
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/wear-leveling>
105. Управление поврежденными блоками
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/bad-block-management>
106. Технология раннего перемещения данных (Early Move)
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/early-move>
107. Что такое «шифрование твердотельного накопителя» и как оно работает?
<https://www.kingston.com/ru/blog/data-security/how-ssd-encryption-works>
108. Удалить всё: как стереть данные и вернуть NVMe SSD к заводским настройкам
https://habr.com/ru/companies/kingston_technology/articles/483472/
109. Твердотельные накопители SSD формата 2.5" и 1.8" с аппаратным шифрованием данных
<https://t-automation.by/components/flash-ssd/ssd/aes-256-bit/>
110. SSD с аппаратным шифрованием
https://catalog.onliner.by/ssd?hdd_encryption=1
111. Power Shield (PS)
<https://ru.transcend-info.com/Embedded/Essay-50>

Список использованных источников

112. Power Loss Protection (PLP)
<https://ru.transcend-info.com/Embedded/Essay-49>
113. S.M.A.R.T. параметры для SSD накопителя
<https://dzen.ru/a/YMfZWh4B3kmgcUwN>
114. CrystalDiskInfo
<https://sourceforge.net/projects/crystaldiskinfo/>
<https://crystalmark.info/en/>
115. Что такое SMART и как его использовать для прогнозирования сбоя жесткого диска или SSD
<https://ip-calculator.ru/blog/ask/что-такое-smart-i-kak-ego-ispolzovat-dlya-prognozirovaniya-sboya-zhestkogo-diska-ili-ssd/>
116. Технология SMART
<https://rlab.ru/doc/smart.html>
117. S.M.A.R.T.
<https://ru.wikipedia.org/wiki/S.M.A.R.T.>
118. SMART параметры для SSD накопителя
<https://recovery-software.ru/blog/smart-data-for-ssd-drive.html>
119. Механизм динамического терморегулирования
<https://ru.transcend-info.com/embedded/technology/thermal-throttling>
120. NVMe SSD Thermal Management: What We Have Learned from Marathons
<https://www.atpinc.com/about/stories/overcoming-nvme-thermal-throttling-temperature>

Список использованных источников

121. SSD M.2 сильно греется — как охладить твердотельный накопитель
<https://club.dns-shop.ru/blog/t-111-modding/52771-ssd-m-2-silno-greetsya-kak-ohladit-tverdotelnyii-nakopitel/>
122. Как понять, нужен ли SSD-накопителю формата M.2 радиатор
<https://t-j.ru/guide/ssd-heatsink-choosing-guide/>
123. Глобальный F.A.Q. по SSD! Надо ли охлаждать SSD M.2? Ссд накопитель кингстон сильно греется в ноутбуке
<https://smslife.ru/beeline/globalnyi-f-a-q-po-ssd-nado-li-ohlazhdad-ssd-m-2-ssd-nakopitel/>
124. SSD 101. SOLID STATE DRIVES 101. Everything You Ever Wanted to Know (SSD. Все, что Ты когда-либо хотел знать)
<https://www.cactus-tech.com/wp-content/uploads/2019/04/Solid-State-Drives-101-EBook.pdf>
125. overclockers.ru \ Накопители SSD(обзор моделей)
<https://overclockers.ru/lab/ssd?offset=0&max=2000>
126. thg.ru \ Накопители
<https://thg.ru/category/storage/>
127. Спецификация тестирования производительности твердотельного накопителя (SSS) (PTS) Solid State Storage (SSS) Performance Test Specification (PTS)
https://www.snia.org/tech_activities/standards/curr_standards/pts

Список использованных источников (YouTube)

1. Как работает полупроводниковая ПАМЯТЬ? Развитие от перфокарт до SSD.(2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=rIWMXk2peR8>
2. How Does Flash Memory Work? (SSD) (2020) - Как работает флэш-память? (SSD) (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=r2KaVfSH884>
3. Как работает флэш память (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=1f9aPIIZ4x4>
4. Сколько Живёт SSD? SLC, MLC, TLC и QLC Флеш Память (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=NMqm0oYojec>
5. SSD. Как работают, почему ломаются? SLC, MLC, TLC, QLC (2021)
https://www.youtube.com/watch?v=7onkTUts_-w
6. Выбор SSD, памяти SSD накопителя TLC или 3D V NAND, контроллер (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bz7qUUc3eD4>
7. Компьютерная Память: История Изобретения Flash Памяти (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=-IHUviW-bEc>
8. Как работает флэш-память NAND? Чтение из TLC: ячейки трехуровневого типа || Изучение твердотельных накопителей (2020) - How does NAND Flash Work? Reading from TLC : Triple Level Cells || Exploring Solid State Drives (2020) <https://www.youtube.com/watch?v=YtBysgPOKx4>
9. How flash memory works - SSDs and USB pendrives (2022) - Как работает флэш-память - твердотельные накопители и USB-накопители (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=b5BPcQUkHbl>

Список использованных источников (YouTube)

10. KIOXIA BiCS FLASH™ generation 8 3D flash memory makes the most of CBA technology
<https://www.youtube.com/watch?v=Vc-wG55KAsw>
11. 3D NAND as Fast As Possible (2015)
<https://www.youtube.com/watch?v=FWV5z9qTUK8>
12. NAND Flash Technology | Swissbit Storage Basics 101 | NAND Flash Memory Basics Explained (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=iv4IZQ4E-Fc>
13. How Does Flash Memory Work? (SSD) (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=r2KaVfSH884>
14. Storage Basics 101
https://www.youtube.com/playlist?list=PLGzbk9LMrZ342BDCKHLFH_Zv5m897_hgG
15. КАК в MicroSD помещается 1 ТЕРАБАЙТ?
https://www.youtube.com/watch?v=y4Vg6_Yb9g8
16. Как выбрать КАРТУ ПАМЯТИ? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=b4l-uxHGBac>
17. Тест карт памяти: проверяем на практике класс скорости, соответствуют ли результаты? Что такое UHS? (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=bj4WvsA4LC4>
18. КАК в MicroSD КАРТУ ПОМЕСТИЛОСЬ 1 Тб | ЭВОЛЮЦИЯ КАРТЫ ПАМЯТИ (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=pNVvNBbJqC8>
19. Как выбрать карту памяти для фотоаппарата? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=t0GLVgVpmH4>

Список использованных источников (YouTube)

20. Что значат надписи на карте памяти? Как выбрать правильную SD карту? Цифры и символы на SD карте (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=rmi2qjMtMzQ>
21. КАКИЕ MICRO SD КАРТЫ РАБОТАЮТ ГОДАМИ И ИХ ИСПОЛЬЗУЕТ TECHNOZON. ЛИЧНЫЙ ОПЫТ (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=hQOCDTPgaXw>
22. Малютка на 1.5 Терабайта - карта памяти microSDXC Smartbuy 1.5TB PRO (SBIT5SDP01) (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=OVZANUtO6ds>
23. Explaining SD Cards: 2025 Update (2025) <https://www.youtube.com/watch?v=HtgIHfqQiC8>
24. Классы скорости SD Express и инновации SD 9.1 (2024) / SD Express Speed Classes and SD 9.1 Innovations (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=VWnGNhgOgqg>
25. microSD Express и SD Express - Революционная инновация для карт памяти SD (2019) / microSD Express & SD Express - Revolutionary Innovation for SD Memory Cards (2019) <https://www.youtube.com/watch?v=YnYsgOlL7U>
26. Как 2 ТБ помещается на microSD? (2024) / How does 2TB fit in a microSD? (2024) <https://www.youtube.com/watch?v=4dtD8ZL4YNo>
27. UHS I vs UHS II SD Cards | Explained! (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=pHA8MxfTcV8>
28. Объяснены SD-карты V30, V60, V90 | Знайте различия! (2022) / V30, V60, V90 SD Cards Explained | Know The Differences! (2022) <https://www.youtube.com/watch?v=aOS3ouZ5K84>

Список использованных источников (YouTube)

29. Какие SD-карты купить (2023)
Which SD Cards To Buy | DON'T WASTE YOUR MONEY (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=9bTlwcTJfJQ>
30. Сбивающие с толку символы на SD-картах (2023)
Confusing Symbols on SD Cards (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=Bw89C41NY7U>
31. Карты microSD работают быстрее с адаптерами или без них? (2015)
Are MicroSD cards faster with or without adapters? (2015)
<https://www.youtube.com/watch?v=bqRq6ASkfJI>
32. Тест скорости работы карты microSD | Маркетинг против Реальность (2017)
MicroSD Card Speed Test | Marketing vs. Reality (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=lAsHs0Aidt0>
33. Карты памяти: Как выбрать лучшую (2016)
Memory cards: How to choose the best one (2016)
<https://www.youtube.com/watch?v=Uh9h2yZnUNQ>
34. Выбор лучшей SD-карты для видео - понимание всех цифр и символов на SD-картах памяти (2018)
Choosing the Best SD Card for Video – Understanding All the Numbers and Symbols on SD Memory Cards (2018) https://www.youtube.com/watch?v=ZmVir_BbITA
35. Как выбрать ЛУЧШУЮ SD-карту Для ВАШЕЙ камеры, не переплачивая (2024)
How to Choose the BEST SD Card For YOUR Camera Without Overpaying (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=Eez2Gv6WQnk>

Список использованных источников (YouTube)

36. Simple Guide To SD Cards | Canon, Sony & More (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=TsPlrBXWpFQ>
37. SD and microSD Card Specification Labels Explained – DIY in 5 Ep 141 (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=g5PkExucy4I>
38. Introduction to SD Specification 9 (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=fuGinxS0c2E&list=PLZ8Cue8CNJNeNR4vhNYvN3Pjo7fz82HwN&index=2>
39. How to Implement SD Express into Your Products (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=2msX9gocJv4>
40. Full video - Data recovery from a dead MicroSD card (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=oW6smFTPdZs>
41. SD Association. SD Express
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLZ8Cue8CNJNfvWJTD3QfEp42waQrY7BqI>
42. How USB Flash Drive Works? (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=hy7_XC8hZ5c
43. А вы знали что внутри флешки целый мир? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=JRHUJdRZM-E>
44. Как выбрать USB-FLASH? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=ug9T-oodXZg>
45. Как выбрать USB-флешку? USB 3.1, OTG, шифрование, чипы памяти, ресурс... (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Llx1rF7eiDw>

Список использованных источников (YouTube)

46. Как выбрать USB-флешку? Полезные советы (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Tu5uVK2xj4w>
47. SSD или USB-флешка: какой накопитель выбрать? (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=vFOpevkYkqg>
48. 5 things you didn't know your USB Flash Drive could do! (2022)
5 вещей, о которых вы не знали, что ваш USB-накопитель может делать! (2022)
<https://youtu.be/fAlz59koSnY?si=jcVWjZMArxGvaoXL>
49. Как работает SSD-накопитель (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=tg9qRyCKbN4>
50. Как работает SSD? Объяснения менее чем за 3 минуты (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Hmzgmt5dzik>
51. Как работают SSD? Как ваш смартфон хранит данные? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=klmbXdeoA4s>
52. Как работают SSD? Как ваш смартфон хранит данные? [Branch Education на русском] (2025)
https://www.youtube.com/watch?v=g0-D2JLG_jg
53. Устройство SSD. Как работает твердотельный накопитель, контроллер и NAND Flash память (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=zrSXFtzhbsc>
54. Полный гайд по SSD-накопителям: SATA, M.2, QLC, TLC, MLC, NVMe, mSATA, 3D NAND...(2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=FEGOdkcYSdY>

Список использованных источников (YouTube)

55. Всё что нужно знать про Диски M.2 SSD (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=z2j2gUI9HcE>
56. Как выбрать твердотельный накопитель SSD? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=5mZsuwuRHEs>
57. КАК ВЫБРАТЬ SSD ДИСК? Важные характеристики, TLC и MLC. Как купить SSD? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Qa4o7Kj6Q3U>
58. Все что вы должны знать о выборе SSD (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=JunTqnJbcmE>
59. Что нужно знать об охлаждении накопителей M.2 и продлении их срока службы (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=CFjCD2AyD6Y>
60. Как устроены SSD и почему они умирают (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=1J-7qyJPcG0>
61. SSD с шифрованием: что это и зачем оно нужно? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=0UBdmLpasIU>
62. Вот, почему нельзя хранить информацию на внешних SSD (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=IBzASDqdtfM>
63. Почему нельзя покупать дешевые SSD? (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=heRgElzseVE>
64. Команда TRIM на SSD(2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=3ewaja8ww54>

Список использованных источников (YouTube)

65. Ресурс SSD: Бесконечен ли бесконечный ресурс SSD дисков?(2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=I1k2q0Jkb3E>
66. SSD: Практические советы (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=JTy63rb8nFk>
67. Как этот твердотельный накопитель хранит 8 ТБ данных? || Разработка архитектуры твердотельных накопителей (2021) / How does this SSD store 8TB of Data? || Inside the Engineering of Solid-State Drive Architecture (2021) <https://www.youtube.com/watch?v=r-SivgEpA1Q>
68. Объяснение SSD M.2 NVMe - M.2 против SSD (ENG) (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=HvfleTieXOI>
69. SOLID STATE DRIVES | How It's Made(2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=fCpn8umYnyg>
70. Modern Solid-State Drives (SSDs) - Lecture 1: Basics of NAND Flash-Based SSDs (Spring 2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=mG2zf8qV3nw>
71. Контроллеры SSD-накопителей как Можно Быстрее (2016)
SSD Controllers as Fast As Possible (2016)
<https://www.youtube.com/watch?v=qUZtXUP78sw>
72. Что такое SSD HMB и почему вам следует обратить на них внимание! (2023)
What are HMB SSDs And Why You Should Consider Them! (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=u3s_l2q62t0

Список использованных источников (YouTube)

73. Руководство для идиотов по использованию твердотельных накопителей NVMe - Перед покупкой (2021) / Idiots Guide to NVMe SSD Guide - Before You Buy (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=g3gEdxCdDHQ>
74. Все Типы твердотельных накопителей (2018)
All SSD Types EXPLAINED (2018)
<https://www.youtube.com/watch?v=kx0ynC8Thlw>
75. Объяснен SSD. Основы твердотельного накопителя. (2025)
SSD Explained. Basics of The Solid-State Drive. (2025)
https://www.youtube.com/watch?v=ggN6dmIS_CQ
76. Tuesday Tech Tip - Understanding SSD Trimming (2023)
Понимание процесса TRIM в SSD (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=S3TmGup_dwM
77. Цифровая криминалистика и SSD - новое хранилище King | University Submission (2021)
Digital Forensics & SSD – The New Storage King | University Submission(2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=zDEAptoQVn8>
78. SSDs: The Downfall of Digital Forensics (2022)
Твердотельные накопители: крах цифровой криминалистики (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=s2tgtljsUGM>
79. Pro SSD. Канал посвящен обзорам SSD-накопителей и их работе.
<https://www.youtube.com/@prossd>

Список использованных источников (YouTube)

80. SSD
https://www.youtube.com/playlist?list=PLOZ29M8Ow0aPf7zBooC7-9SSy0dG_5nFk
81. Livestream - P&S Modern SSDs (Spring 2024). Onur Mutlu Lectures
https://www.youtube.com/playlist?list=PL5Q2soXY2Zi_wYPRfYd1dJ8Am5bvJ-A4
82. Обзоры SSD
<https://youtube.com/playlist?list=PL0Tr76p-GJKrbY26eFyWEiZ2PppeKfSg6&si=mj5viZaCz1JRaJEn>
83. Техника Компьютер SSD, NVMe
<https://youtube.com/playlist?list=PLv8p-3cRLouTgzrsQU-JGn9rSMI4lhks9&si=Ac9qzafQxrTZIH5F>
84. Solid State Storage
https://www.youtube.com/playlist?list=PLH_ag5Km-YUYfmD6lhRoajqF_-wREPP-
85. Storage & Related Hardware
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL2m2YvnrOYxLX5Smd9ujJJj0KUhq36UXD>
86. Эволюция носителей информации - HDD, SSD, CD диск, Дискета(2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=9gnapPmwpk4>
87. История носителей информации: от картона до флешки и ДНК! (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=s7ulaTltSh0>
88. История компьютерных систем хранения данных (2016)
The History of Computer Storage (2016)
<https://www.youtube.com/watch?v=-KRLWGalunA>

Список использованных источников (YouTube)

89. КАК РАБОТАЕТ ФЛЭШ - КАРТА | Что внутри флэшки?(2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=W-CH3KldgN4>
90. Краткая история твердотельных накопителей (SSD) (2014)
A Brief History of Solid State Drives (SSD) (2014)
<https://www.youtube.com/watch?v=KVQYPMITP2A>
91. Computer History: Memory & Storage 1950-1985 - (Core, disc, vacuum tube, etc.) (2020)
https://www.youtube.com/watch?v=9XJapKLq_6k
92. Все о разъемах накопителей и как их подключить: ATA, SATA, mSATA, M.2, NVMe - в чем разница 2 (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=Ksh3qP6y7ks>
93. HDD vs SSD и SATA vs NVMe - разница между форм факторами и протоколами передачи данных? (2024) https://www.youtube.com/watch?v=u_rnjX19RIQ
94. Типы накопителей M2 SSD, NVMe, HDD или mSATA - Как выбрать и в чем разница (2019)
https://www.youtube.com/watch?v=2FL_d-WDmaY
95. M2 NVMe или SATA SSD Различие и что выбрать (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Wi8ibq5UUv0>
96. Разъёмы ssd дисков - интерфейс подключения ide sata micro msata m.2 ngff nvme pci-e slimline ahci (2018) <https://www.youtube.com/watch?v=L42j75rMoMY>
97. Про PCIe 5.0 SSD - все "ЗА" и "ПРОТИВ"(2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=TSHXkL50Kww>

Список использованных источников (YouTube)

98. Различные типы твердотельных накопителей M2 SATA или NVME (2022)
Different Types of M2 SSD SATA or NVME (2022)
https://www.youtube.com/watch?v=3Dv_OrHY61w
99. SSD vs HDD vs NVMe vs SATA vs mSATA vs M2: Storage Devices EXPLAINED!(2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=r3Jy5dHOj3g>
100. Типы жестких дисков | SCSI, SATA, PATA, NVMe | BIOS и UEFI | MBR и GPT Объясняются примерами (2023) / Hard Disk Types | SCSI, SATA, PATA, NVMe | BIOS and UEFI | MBR and GPT Explained with Examples (2023) <https://www.youtube.com/watch?v=YAjwQNgWcus>
101. What is NVMe? (AKIO TV) (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=HDvV7C8-UKs>
102. SATA and eSATA (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=wLK8NYw6DVU>
103. SATA vs SAS VS PCIe | EXPLAINED (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=JJi-NGZeyxA>
104. M.2 NVMe vs M.2 SATA vs mSATA | Explained (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=Tam7WCszUQU>
105. M.2 As Fast As Possible (2015)
https://www.youtube.com/watch?v=opwON-7J_wl
106. SATA M.2 SSD vs PCIe M.2 SSD - What's the difference? – DIY in 5 Ep 172 (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=8iNf8hRn1NO>

Список использованных источников (YouTube)

107. NVMe Storage Explained – DIY in 5 Ep 76 (2018)
https://www.youtube.com/watch?v=_LvXHZIQIZo
108. EDSFF E1 and E3 to Replace M.2 and U2/U3/2.5in SSDs in Data Centers (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=29Nh3p6779E>
109. Мой самый быстрый внешний SSD для Mac (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=-65vjqL8-TM>
110. Работа на MacBook с внешним SSD. Мой опыт (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=oNvvoAPL7ok>
111. Что выбрать SSD или HDD? (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=-fqhVfd2CH8>
112. SSD vs HDD: Как это работает? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=6lagcZlPpsg>
113. 5 ошибок при выборе диска HDD\SSD. Какой SSD взять? (2017)
<https://www.youtube.com/watch?v=l27bFg0pWiM>
114. SSD или HDD плюсы и минусы (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=cDFQMk6NRY0>
115. Ресурс современных SSD НЕ равно сохранность данных (2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=IX12kJx3ukQ>
116. Тест SSD на загрузке игр. Что даст дорогой SSD против дешевого? (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=aFLWYmNNfYw>

Список использованных источников (YouTube)

117. Как проверить SSD на ошибки и узнать его состояние? (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=DHYDHhIqm7o>
118. Какой SSD выбрать для игр? Влияние SSD DRAM на производительность в играх (2023)
<https://www.youtube.com/watch?v=-NCOOnCLxdtg>
119. Is Your SSD FAST Enough? (2019)
Достаточно ли быстро работает ваш SSD? (2019)
<https://www.youtube.com/watch?v=omEm40cIsl0>
120. НЕ покупайте эти NVME. Тест китайских SSD (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=1vOWzOLnO_I
121. Вся правда про ресурс современных SSD | SSD resource test 1 year (Kingston KC3000) (2025)
<https://www.youtube.com/watch?v=LiJkYViXgWg>
122. M.2 NVMe vs SATA SSD | БОЛЬШОЙ ТЕСТ | Сравнение SSD (2022)
<https://www.youtube.com/watch?v=tKzPwAYMAaQ>
123. Срок службы SSD диска и как его продлить? (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=2RgQjW4-wrc>
124. Как проверить жесткий диск Victoria HDD/SSD для Windows 7, 8, 10? (2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=WL9SWqfQn50>
125. Возможности программы Victoria HDD/SSD - можно с ее помощью восстанавливать данные? (2023)
https://www.youtube.com/watch?v=lqjo_9ZUejM

Список использованных источников (YouTube)

126. Полное руководство по твердотельным накопителям на 2025 год
Ultimate SSD Guide for 2025 - Don't buy the WRONG Storage! (2024)
https://www.youtube.com/watch?v=3f9hEn5_QZw
127. Василий Дорин. SSD диски: проблемы и восстановление данных
<https://www.youtube.com/playlist?list=PL7qrDPVPb1qX3ZCvFGWIPOAPyrpIZdj9O>
128. How RAM is Made: Automated Binning, Manufacturing, & Burn-in Testing | Factory Tours S3E2 (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=---fHu9jFtw>
129. Topdisk: SSD Manufacturers, Best SSD Factory, USB Drive Manufacturers, USB Drive Factory. (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=jhXsddlXtqk>
130. How's a USB Flash Drive Made? Trip to the Kingston Production Plant (2009)
https://www.youtube.com/watch?v=g_6mMFmes1s
131. Inside a USB Flash Drive Factory in China | How Pen Drives are Made | Manufacturing Memory Sticks (2021)
<https://www.youtube.com/watch?v=6swivo2GrgE>
132. How does a Custom memory card or USB Flash Drive produced in a chinese factory?(2020)
<https://www.youtube.com/watch?v=Llzl4o1KAI>
133. Inside Micron Taiwan's Semiconductor Factory | Taiwan's Mega Factories EP1 (2024)
<https://www.youtube.com/watch?v=WKHKy89QaV0>