ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6
ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПІДБІР НАКОПИЧУВАЧА І ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ НОУТБУКА

Мета заняття: вивчити будову та параметри підсистеми зберігання даних і оперативної пам'яті ноутбука; ознайомитися з форм-факторами, інтерфейсами та типами мікросхем пам'яті сучасних твердотільних накопичувачів; засвоїти правила сумісності при модернізації; навчитися виконувати розрахунки продуктивності та ресурсу накопичувача; набути практичних навичок обґрунтованого вибору комплектувальних виробів та оцінювання доцільності модернізації.

Обладнання та програмне забезпечення: персональний комп'ютер із доступом до мережі Інтернет; за наявності — комп'ютер із встановленими утилітами діагностики (CrystalDiskInfo, HWiNFO); інженерний калькулятор або електронні таблиці.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Підсистема зберігання даних ноутбука

Упродовж тривалого часу основним накопичувачем ноутбука був жорсткий магнітний диск (HDD) форм-фактора 2,5 дюйма. Його принциповим обмеженням є механічна природа: для читання даних блок головок має фізично переміститися над потрібною доріжкою, а диск — повернутися. Через це час довільного доступу становить одиниці мілісекунд і майже не зменшувався протягом десятиліть.

Твердотільний накопичувач (SSD) побудований на мікросхемах енергонезалежної флеш-пам'яті та не містить рухомих частин. Час доступу зменшується на три порядки — до десятків мікросекунд, що й визначає відчутну різницю у швидкодії системи. Додатковими перевагами є стійкість до ударів, безшумність та менше енергоспоживання, що для ноутбука означає довшу автономну роботу.

Жорсткі диски у ноутбуках сьогодні застосовують лише як додатковий накопичувач великого обсягу в бюджетних та ігрових моделях, де збережено відсік 2,5 дюйма. Оптичні приводи із сучасних ноутбуків вилучено повністю; за потреби застосовують зовнішні пристрої з інтерфейсом USB.

1.2 Форм-фактори накопичувачів

Форм-фактор визначає фізичні розміри накопичувача та спосіб його кріплення. У сучасних ноутбуках застосовують два основні варіанти: накопичувачі 2,5 дюйма заввишки 7 мм із інтерфейсом SATA та модулі стандарту M.2 (рис. 1).

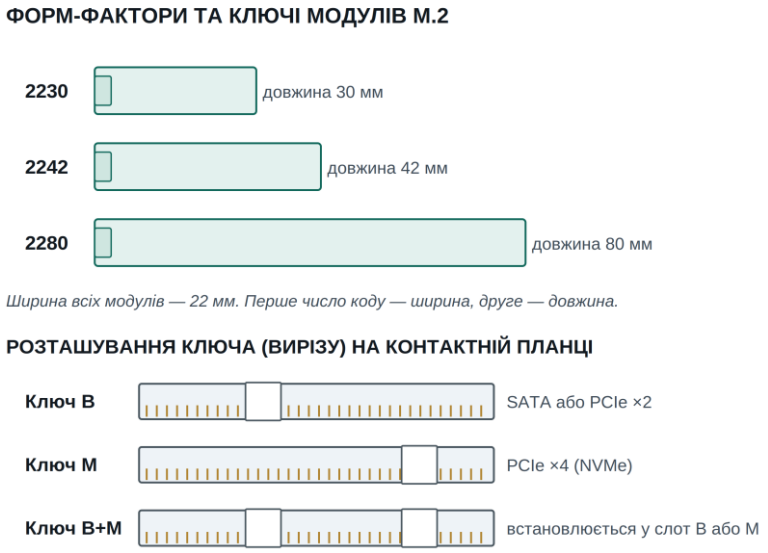


Рис. 1. Форм-фактори та ключі модулів M.2

Цифровий код модуля M.2 складається з ширини та довжини у міліметрах: 2280 означає 22 мм завширшки та 80 мм завдовжки. Найпоширенішим є розмір 2280; компактні моделі ноутбуків застосовують 2242 та 2230. Довший модуль у коротке посадкове місце не встановлюється, тому довжину слід перевіряти першою.

Ключ — це виріз на контактній планці, що механічно унеможливлює встановлення модуля у несумісне посадкове місце. Ключ M відповідає підключенню PCIe ×4, ключ B — SATA або PCIe ×2. Модулі з подвійним ключем B+M встановлюються в обидва типи посадкових місць, проте працюють із тією швидкістю, яку забезпечує саме посадкове місце.

Важливо. Однакові роз'єми не гарантують сумісності: посадкове місце M.2 може бути підключене лише до ліній SATA, лише до ліній PCIe або до обох. Встановлення накопичувача NVMe у посадкове місце, що підтримує тільки SATA, не дасть результату — накопичувач не визначиться.

1.3 Інтерфейси та протоколи

Слід розрізняти **інтерфейс** — фізичний канал передавання даних, та **протокол** — набір правил обміну командами. Накопичувачі SATA використовують протокол AHCI, розроблений для механічних дисків: він передбачає одну чергу команд завглибшки 32 елементи. Накопичувачі, під'єднані лініями PCIe, використовують протокол NVMe, спеціально створений для флеш-пам'яті: він підтримує тисячі паралельних черг, що відповідає внутрішній будові SSD.

Пропускна здатність визначається поколінням PCIe та кількістю задіяних ліній; практичні значення наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Практична пропускна здатність інтерфейсів накопичувачів

Інтерфейс	Протокол	Практична швидкість послідовного читання, МБ/с
SATA III	AHCI	до 550
PCIe 3.0 ×4	NVMe	до 3500
PCIe 4.0 ×4	NVMe	до 7000
PCIe 5.0 ×4	NVMe	до 14000

Наведені значення є граничними для інтерфейсу. Реальна швидкість копіювання завжди нижча й залежить від швидкості джерела даних, розміру файлів та вичерпання швидкісного кешу. Крім того, встановлення накопичувача PCIe 4.0 у ноутбук, посадкове місце якого підтримує лише PCIe 3.0, не дасть приросту: накопичувач працюватиме на швидкості старшого покоління.

1.4 Типи флеш-пам'яті

Комірка флеш-пам'яті зберігає заряд, рівень якого відповідає записаному значенню. Чим більше бітів зберігає одна комірка, тим дешевшим є накопичувач, але тим менший його ресурс і нижча швидкість (табл. 2).

Таблиця 2

Типи комірок флеш-пам'яті

Тип	Бітів у комірці	Відносний ресурс	Застосування
SLC	1	Найвищий	Промислові та серверні рішення
MLC	2	Високий	Професійні накопичувачі
TLC	3	Середній	Більшість споживчих моделей
QLC	4	Низький	Бюджетні моделі великого обсягу

Сучасні мікросхеми виготовляють за технологією **3D NAND**: комірки розміщують не в одній площині, а багатьма шарами, що підвищує щільність зберігання без зменшення розмірів комірки.

Для компенсації невисокої швидкості запису в багаторівневі комірки застосовують **SLC-кеш** — частину пам'яті, що тимчасово працює в однобітовому режимі. Доки кеш не вичерпано, накопичувач демонструє паспортну швидкість; після вичерпання швидкість запису різко падає. Саме тому під час копіювання великого обсягу даних швидкість спочатку висока, а потім помітно знижується.

1.5 Контролер і буфер

Контролер керує розподілом даних, вирівнюванням зношення комірок та виправленням помилок. Для зберігання таблиці відповідності логічних і фізичних адрес потрібна оперативна пам'ять. За способом її реалізації накопичувачі поділяють на дві групи:

– **із власним буфером DRAM** — таблиця зберігається у мікросхемі на платі накопичувача; забезпечує стабільну продуктивність за інтенсивного довільного доступу;

– **без буфера, з технологією HMB** (Host Memory Buffer) — накопичувач запозичує невеликий обсяг оперативної пам'яті комп'ютера. Такі моделі дешевші та менш енергоємні, проте за тривалого навантаження поступаються першій групі.

1.6 Показники продуктивності та ресурсу

– **послідовні швидкості читання та запису**, МБ/с — характеризують роботу з великими файлами;

– **швидкості довільного доступу**, вимірювані в операціях за секунду (IOPS) — визначають чутливість системи під час запуску програм;

– **затримка** (latency), мкс — час виконання однієї операції;

– **TBW** (Terabytes Written) — сумарний обсяг запису, який гарантує виробник протягом строку служби, терабайтів;

– **DWPD** (Drive Writes Per Day) — допустима кількість повних перезаписів накопичувача за добу протягом гарантійного строку;

– **MTBF** — середнє напрацювання на відмову, годин.

Для побутового та навчального застосування визначальними є швидкості довільного доступу, а не послідовні: саме вони відповідають за відчуття швидкодії системи. Показник TBW для таких сценаріїв зазвичай не є обмежувальним, що й належить перевірити розрахунком.

1.7 Розрахунок часу копіювання та ресурсу накопичувача

Орієнтовний час копіювання масиву даних визначають як відношення обсягу до швидкості передавання:

$$t = V \cdot 1000 / S$$

де t — час, секунд; V — обсяг даних, ГБ; S — швидкість, МБ/с. Множник 1000 переводить гігабайти в мегабайти.

Очікуваний строк служби накопичувача за ресурсом запису обчислюють з урахуванням **коефіцієнта підсилення запису** (WAF, Write Amplification Factor). Через особливості роботи флеш-пам'яті фізичний обсяг запису завжди перевищує логічний: контролер змушений перезаписувати цілі блоки заради зміни окремих сторінок. Значення WAF для споживчих сценаріїв становить приблизно 1,5–3:

$$L = TBW \cdot 1000 / (W \cdot k \cdot 365)$$

де L — строк служби, років; TBW — ресурс запису, ТБ; W — добовий обсяг запису, ГБ; k — коефіцієнт WAF.

1.8 Тепловий режим

Накопичувачі NVMe під навантаженням нагріваються значно сильніше за SATA. За перевищення допустимої температури контролер примусово знижує швидкість — виникає **тепловий тротлінг**. У тонких ноутбуках це трапляється під час тривалого копіювання великих обсягів даних. Пом'якшують проблему теплорозподільні пластини та термопрокладки, що відводять тепло на корпус. Односторонні модулі (мікросхеми лише з одного боку плати) охолоджуються краще і частіше сумісні з тонкими корпусами, ніж двосторонні.

1.9 Оперативна пам'ять ноутбука

В ноутбуках застосовують модулі зменшеного розміру **SO-DIMM** стандартів DDR4 або DDR5, а також мікросхеми **LPDDR**, розпаяні безпосередньо на материнській платі. Розпаяна пам'ять має менші розміри та енергоспоживання, проте модернізації не підлягає — обсяг визначається на етапі придбання назавжди.

Контролер пам'яті сучасних процесорів має два канали. Якщо задіяно лише один модуль, працює один канал і пропускна здатність удвічі менша за можливу. Для роботи у двоканальному режимі потрібні два модулі, бажано однакові за обсягом і частотою (рис. 2).

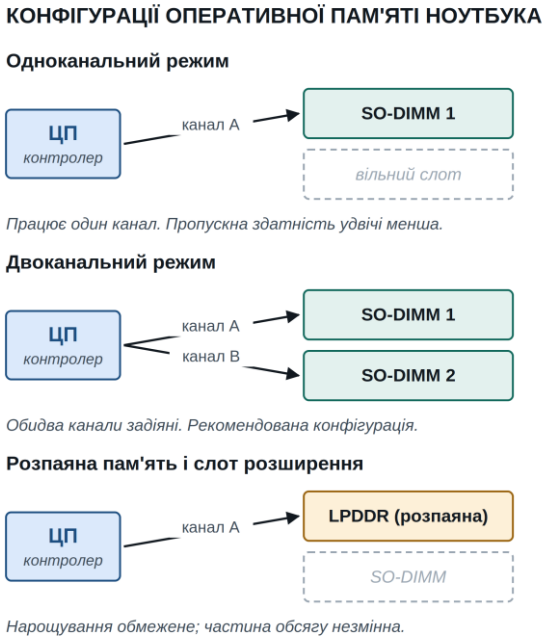


Рис. 2. Конфігурації оперативної пам'яті ноутбука

Нестача оперативної пам'яті призводить до інтенсивного використання файла підкачки на накопичувачі. Це не лише уповільнює ро-

боту, а й збільшує обсяг запису, скорочуючи ресурс SSD. Тому нарощування пам'яті часто дає більший приріст швидкодії, ніж заміна накопичувача.

1.10 Сумісність при модернізації

Перед придбанням комплектувальних виробів слід перевірити перелік параметрів, наведений у табл. 3.

Таблиця 3

Параметри, що перевіряються при модернізації

Компонент	Що перевіряти
Накопичувач M.2	Довжина модуля (2230 / 2242 / 2280); тип ключа; підтримка посадковим місцем SATA чи PCIe; покоління PCIe; односторонній чи двосторонній модуль
Накопичувач 2,5″	Наявність відсіку та шлейфа; висота корпусу (7 або 9,5 мм)
Оперативна пам'ять	Стандарт (DDR4 / DDR5); кількість посадкових місць; максимальний обсяг, підтримуваний процесором і мікропрограмою; частота; наявність розпаяної частини
Загальне	Відомості про підтримку з переліку сумісності виробника; необхідність оновлення мікропрограми

1.11 Діагностика стану накопичувача та пам'яті

Технологія **SMART** (Self-Monitoring, Analysis and Reporting Technology) дає змогу прочитати накопичені накопичувачем показники його стану, зокрема сумарний обсяг запису та залишковий ресурс (табл. 4).

Таблиця 4

Засоби діагностики накопичувача та пам'яті

Засіб	Призначення
CrystalDiskInfo	Windows: показники SMART, температура, сумарний обсяг запису, оцінка стану
HWiNFO	Windows: докладні відомості про накопичувач, пам'ять, режим роботи посадкового місця
wmic diskdrive get model,size,interfacetype	Windows: модель, обсяг та інтерфейс накопичувача
Get-PhysicalDisk	Windows PowerShell: перелік накопичувачів і їх стан
smartctl -a /dev/nvme0	Linux: повний набір показників SMART
lsblk, lshw -class disk	Linux: перелік накопичувачів і їх параметри
dmidecode -t memory	Linux: тип, частота та розміщення модулів пам'яті

Для накопичувачів NVMe ключовими є показники **Data Units Written** (сумарний обсяг запису) та **Percentage Used** (використаний ресурс у відсотках). Зіставивши їх із паспортним TBW, можна оцінити фактичну інтенсивність експлуатації та залишковий строк служби.

1.12 Модельний приклад розрахунку

Розглянемо послідовність розрахунків для варіанта № 7. За табл. 6 профіль використання — № 1; за табл. 7 обсяг даних для копіювання становить 640 ГБ, добовий обсяг запису — 50 ГБ, коефіцієнт WAF — 3, ресурс запису накопичувача — 800 ТБ.

Крок 1. Час копіювання за різних інтерфейсів.

SATA III: $t = 640 \cdot 1000 / 550 = 1164$ с ≈ **19 хв 24 с**.
PCIe 3.0 ×4: $t = 640 \cdot 1000 / 3500 = 183$ с ≈ **3 хв 3 с**.
PCIe 4.0 ×4: $t = 640 \cdot 1000 / 7000 = 91$ с ≈ **1 хв 31 с**.
PCIe 5.0 ×4: $t = 640 \cdot 1000 / 14000 = 46$ с ≈ **46 с**.

Перехід від SATA III до PCIe 4.0 ×4 скорочує час копіювання у 12,7 раза. Саме інтерфейс, а не тип пам'яті, є тут визначальним чинником.

Крок 2. Строк служби за ресурсом запису.

$L = 800 \cdot 1000 / (50 \cdot 3 \cdot 365) = 800000 / 54750 =$ **14,6 року**.

Отриманий строк значно перевищує строк морального старіння пристрою, отже, за заданого характеру навантаження ресурс запису не є обмежувальним чинником. Обмежувальними будуть обсяг накопичувача та швидкість інтерфейсу.

Крок 3. Потрібний обсяг оперативної пам'яті.

Профіль № 1 — офісні задачі, браузер (15+ вкладок), відеоконференції — потребує щонайменше 8 ГБ, рекомендований обсяг — 16 ГБ. Для роботи у двоканальному режимі рекомендований обсяг доцільно набрати двома однаковими модулями по 8 ГБ за умови, що ноутбук має два посадкові місця та вся пам'ять не є розпаяною.

2. ЗАВДАННЯ НА ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Номер варіанта *N* відповідає порядковому номеру студента у списку групи. Модель ноутбука та вихідні дані наведено в табл. 5–7.

Загальне правило. *Якщо за результатами дослідження встановлено, що компонент конструктивно не підлягає заміні або нарощуванню (розпаяний чи недоступний без повного розбирання), відповідний пункт завдання виконується у формі обґрунтованої оцінки: які саме обмеження накладає конструкція, на що слід зважати при придбанні такого пристрою та якою є вартість сервісного розв'язання, якщо воно існує.*

1. За технічною документацією виробника визначити параметри штатного накопичувача ноутбука свого варіанта: форм-фактор, тип ключа, інтерфейс і протокол, обсяг, наявність додаткового посадкового місця. Результати навести у вигляді табл. 8 із зазначенням джерела.

2. За технічною документацією визначити параметри оперативної пам'яті: стандарт, встановлений обсяг, кількість посадкових місць, наявність розпаяної частини, максимальний підтримуваний обсяг. Зробити висновок, чи працює пам'ять у двоканальному режимі у штатній конфігурації.

3. За даними табл. 7 обчислити час копіювання заданого обсягу даних для всіх чотирьох інтерфейсів із табл. 1. Результати навести у вигляді таблиці та пояснити, у скільки разів відрізняється час і чим це зумовлено.

4. Користуючись сайтами виробників та українськими торговельними майданчиками, дібрати два накопичувачі для заміни штатного. Обов'язкова умова: обидва мають бути сумісними з моделлю за варіантом. Порівняти їх за параметрами табл. 9, обчислити вартість одного гігабайта для кожного. Зазначити джерела та дату фіксації цін.

5. За даними табл. 7 обчислити очікуваний строк служби накопичувача за ресурсом запису з урахуванням коефіцієнта WAF. Повторити розрахунок із паспортним значенням TBW одного з дібраних у п. 4 накопичувачів. Порівняти результати та зробити висновок, чи є ресурс запису обмежувальним чинником.

6. За профілем використання свого варіанта (табл. 5 і табл. 6) визначити мінімальний та рекомендований обсяг оперативної пам'яті. Запропонувати конфігурацію модулів, що забезпечує двоканальний режим, і перевірити її здійсненність для моделі за варіантом.

7. Дібрати модуль оперативної пам'яті для запропонованої конфігурації. Перевірити сумісність за стандартом, частотою та максимальним обсягом. Результати занести до табл. 10.

8. **Додаткове завдання за наявності обладнання.** За допомогою утиліти CrystalDiskInfo або команди `smartctl -a` отримати показники SMART доступного накопичувача. Визначити сумарний обсяг запису, використаний ресурс та температуру. Обчислити фактичний середньодобовий обсяг запису, поділивши сумарний обсяг на кількість годин напрацювання, та порівняти його зі значенням свого варіанта. За відсутності обладнання виконати пп. 3 і 5 для другого набору вихідних даних — варіанта з номером $N + 15$ (для $N > 15$ — $N - 15$).

9. Сформулювати обґрунтований висновок щодо модернізації: який компонент доцільно замінити першим і чому, якою є сумарна вартість запропонованих змін, який приріст швидкодії очікується та за яких умов модернізація є доцільнішою за придбання нового пристрою.

Таблиця 5

Профілі використання та вимоги до оперативної пам'яті

№	Характер роботи	Мінімум, ГБ	Рекоменд., ГБ
1	Офісні задачі, браузер (15+ вкладок), відеоконференції	8	16
2	Розробка ПЗ: IDE, компілятор, 2 контейнери Docker	16	32
3	Віртуалізація: хост-ОС та дві ВМ по 4 ГБ	16	32
4	Обробка фотографій, растрова графіка	16	32
5	Монтаж відео 4K	32	64
6	САПР та тривимірне моделювання	32	64

Таблиця 6

Модель ноутбука та профіль використання за варіантами

№ варіанта	Модель ноутбука	Профіль (за табл. 5)
1	Lenovo ThinkPad T14 Gen 3	1
2	Lenovo ThinkPad E15 Gen 4	2
3	Lenovo ThinkBook 14 G4	3
4	Dell Latitude 5420	4
5	Dell Latitude 7430	5
6	Dell Vostro 3520	6

№ варіанта	Модель ноутбука	Профіль (за табл. 5)
7	HP ProBook 450 G9	1
8	HP EliteBook 840 G8	2
9	HP 250 G9	3
10	Acer TravelMate P2 TMP215	4
11	ASUS ExpertBook B1 B1500	5
12	Lenovo V15 G3	6
13	Lenovo IdeaPad 3 15ITL6	1
14	Lenovo IdeaPad Gaming 3 15ACH6	2
15	Lenovo Legion 5 15ACH6	3
16	Acer Aspire 5 A515-57	4
17	Apple MacBook Air 13" M1	5
18	Acer Swift 3 SF314-511	6
19	ASUS VivoBook 15 X1502ZA	1
20	ASUS TUF Gaming F15 FX506	2
21	ASUS ZenBook 14 UX3402	3
22	HP Pavilion 15-eg	4
23	HP Victus 16	5
24	Dell Inspiron 15 3520	6
25	Dell G15 5520	1
26	MSI Katana GF66	2
27	Acer Nitro 5 AN515-58	3
28	Apple MacBook Pro 14" M2 Pro	4
29	Microsoft Surface Laptop 5	5
30	Framework Laptop 13	6

Таблиця 7

Вихідні дані для розрахунків за варіантами

№ варіанта	Обсяг даних для копіювання, ГБ	Добовий обсяг запису, ГБ	Коефіцієнт WAF	Ресурс TBW, ТБ
1	120	10	1,5	150
2	200	15	1,8	200
3	250	20	2	300
4	320	25	2,2	400
5	400	30	2,5	500
6	500	40	2,8	600
7	640	50	3	800
8	750	60	1,5	1000
9	900	70	1,8	1200
10	1000	80	2	150
11	120	10	2,2	200
12	200	15	2,5	300

№ варіанта	Обсяг даних для копіювання, ГБ	Добовий обсяг запису, ГБ	Коефіцієнт WAF	Ресурс TBW, ТБ
13	250	20	2,8	400
14	320	25	3	500
15	400	30	1,5	600
16	500	40	1,8	800
17	640	50	2	1000
18	750	60	2,2	1200
19	900	70	2,5	150
20	1000	80	2,8	200
21	120	10	3	300
22	200	15	1,5	400
23	250	20	1,8	500
24	320	25	2	600
25	400	30	2,2	800
26	500	40	2,5	1000
27	640	50	2,8	1200
28	750	60	3	150
29	900	70	1,5	200
30	1000	80	1,8	300

Результати виконання роботи оформити у вигляді табл. 8–10.

Таблиця 8

Параметри штатного накопичувача та пам'яті

Параметр	Значення	Джерело
Модель ноутбука		
Форм-фактор накопичувача		
Тип ключа M.2		
Інтерфейс і протокол		
Обсяг, ГБ		
Додаткове посадкове місце		
Стандарт оперативної пам'яті		
Встановлений обсяг, ГБ		
Кількість посадкових місць		
Розпаяна частина, ГБ		
Максимальний обсяг, ГБ		
Режим роботи (одно- / двоканальний)		

Таблиця 9

Порівняння накопичувачів для заміни

Параметр	Штатний	Заміна № 1	Заміна № 2
Модель та виробник			
Форм-фактор			
Інтерфейс			
Обсяг, ГБ			
Тип пам'яті (TLC / QLC)			
Буфер DRAM або HMB			
Послідовне читання, МБ/с			
Послідовний запис, МБ/с			
Ресурс TBW, ТБ			
Вартість, грн			
Вартість 1 ГБ, грн			
Гарантія, міс.			
Джерело та дата			

Таблиця 10

Підбір модулів оперативної пам'яті

Параметр	Штатна конфігурація	Запропонована конфігурація
Стандарт (DDR4 / DDR5)		
Обсяг модулів, ГБ		
Кількість модулів		
Сумарний обсяг, ГБ		
Частота, МТ/с		
Режим роботи		
Вартість, грн		
Джерело та дата		

3. КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Порівняльна характеристика жорсткого диска та твердотільного накопичувача.

2. Чому час довільного доступу SSD на три порядки менший за час доступу HDD?

3. Форм-фактори накопичувачів ноутбуків. Структура цифрового коду модуля M.2.

4. Призначення ключа на контактній планці модуля M.2. Типи ключів.

5. Чому однакові роз'єми M.2 не гарантують сумісності накопичувача з ноутбуком?

6. Відмінність між інтерфейсом і протоколом. Протоколи AHCI та NVMe.

7. Пропускна здатність інтерфейсів SATA III та PCIe різних поколінь.

8. Що відбудеться, якщо встановити накопичувач PCIe 4.0 у посадкове місце PCIe 3.0?

9. Типи комірок флеш-пам'яті. Залежність ресурсу та швидкості від кількості бітів у комірці.

10. Технологія 3D NAND: призначення та перевага.

11. Призначення SLC-кешу. Чому швидкість запису падає під час копіювання великих обсягів?

12. Буфер DRAM та технологія HMB: відмінності, переваги й недоліки.

13. Показники продуктивності накопичувача. Чому для побутових задач важливіші швидкості довільного доступу?

14. Показники TBW та DWPD: визначення та зв'язок між ними.

15. Коефіцієнт підсилення запису (WAF): фізична причина виникнення та вплив на строк служби.

16. Порядок розрахунку очікуваного строку служби накопичувача за ресурсом запису.

17. Тепловий тротлінг накопичувача: причина, наслідки, способи запобігання.

18. Модулі SO-DIMM та розпаяна пам'ять LPDDR: порівняння.

19. Одноканальний і двоканальний режими роботи пам'яті. Умови роботи у двоканальному режимі.

20. Як нестача оперативної пам'яті впливає на ресурс накопичувача?

21. Параметри, що перевіряються перед модернізацією накопичувача та пам'яті.

22. Технологія SMART. Показники Data Units Written та Percentage Used.