

УДК 004

О.Марченко, магістр гр. КІ-22М-2

*Центральноукраїнський національний технічний університет*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ САМОКОНТРОЛЮ, АНАЛІЗУ ТА ЗВІТНОСТІ СТАНУ ЖОРСТКОГО ДИСКУ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Об'єктом дослідження є процес на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Предметом дослідження є методи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Методи дослідження базуються на методах теорії обчислювальних систем, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

**Постановка проблеми.** Жорсткий диск є одним із найважливіших компонентів вашого ПК, оскільки він зберігає всі дані, створені, надані та збережені у вашій системі. Без пам'яті на жорсткому диску більшість функцій вашого ПК стають тимчасовими, оскільки ви не можете зберегти результат будь-якого завдання.

Це також один із найзавантаженіших пристроїв на вашому комп'ютері. Через таке суворе використання його потрібно регулярно перевіряти та обслуговувати, щоб запобігти будь-якій несправності.

Переобтяжені регулярними завданнями, ви не завжди маєте достатньо часу, щоб часто перевіряти стан жорсткого диска. Насправді більшість із нас не знають, як регулярно перевіряти стан жорсткого диска. Щоб вирішити цю проблему, багато програм перевірки стану жорсткого диска доступні в Інтернеті, якими ви можете скористатися.

S.M.A.R.T (від англ. self-monitoring, analysis and reporting technology – технологія самоконтролю, аналізу й звітності) – технологія оцінки стану НЖМД убудованою апаратурою самодіагностики, а також механізм проорокування часу виходу його з ладу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.
- Дослідження системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.
- Програмна реалізація системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.

*Об'єктом дослідження* є процес на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.

*Предметом дослідження* є методи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску.

*Методи дослідження* базуються на методах теорії обчислювальних систем, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу.** Сучасні жорсткі диски використовують показники SMART (технологія самоконтролю, аналізу та звітування) для прогнозування апаратних збоїв.

У більшості випадків користувачам домашнього комп'ютера не потрібно турбуватися про дані SMART, але якщо ваш жорсткий диск, здається, працює на низькій швидкості, дані пошкоджуються або ви помітили інші симптоми загрозованої несправності жорсткого диска, аналіз SMART може надати корисну інформацію.

#### **S.M.A.R.T.**

Технологія SMART дозволяє здійснювати:

- моніторинг параметрів стану;
- сканування поверхні;
- сканування поверхні з автоматичною заміною сумнівних секторів на надійні.

Програми, що відображають стан SMART-атрибутів, працюють за наступним алгоритмом:

- Перевірка наявності підтримки технології SMART накопичувачем.
- Подається в накопичувач команду запиту SMART-таблиць.
- Одержання таблиці в буфер додатка.
- Розбираються табличні структури, витягаючи з них номери атрибутів і їхні числові значення.
- Зіставляються стандартизовані номери атрибутів їхнім назвам (іноді – залежно від типу, моделі або фірми-виготовлювача НЖМД).
- Виводяться числові значення в зручному для сприйняття виді (отут кожний програміст може робити по-своєму, наприклад, конвертувати HEX-Значення в десяткові).
- Витягають із таблиць прапори атрибутів (ознаки, що характеризують призначення атрибута в рамках конкретної firmware накопичувача, наприклад, «життєво важливий» або «лічильник»).
- На підставі всіх таблиць, значень і прапорів виводяться загальний стан пристрою.

Перш ніж розпочати, важлива примітка: якщо ви вважаєте, що ваш жорсткий диск несправний, створіть резервну копію важливих даних, перш ніж виконувати будь-які додаткові дії. Якщо симптоми серйозні (відсутні файли, звуки клацання або інші ознаки механічної несправності), ми настійно рекомендуємо співпрацювати з досвідченим постачальником послуг відновлення даних – запуск жорсткого диска навіть на кілька секунд може призвести до остаточної втрати даних.

Маючи це на увазі, ось як читати дані SMART і розуміти цифри.

#### **Доступ до даних SMART у Windows**

Ви можете отримати базові дані SMART через командний рядок Windows, за допомогою утиліт справності диска, які постачаються разом із вашим жорстким диском, або за допомогою інструментів з відкритим кодом, таких як CrystalDiskInfo.

Хоча ви можете платити за комунальні послуги, які читають інформацію SMART, вам не потрібно це робити – безкоштовні утиліти нададуть вам достатньо інформації для більшості цілей.

Щоб отримати доступ до даних SMART через командний рядок:

1. Відкрийте меню Пуск.
2. Введіть cmd у вікні пошуку. Клацніть правою кнопкою миші командний рядок і виберіть Запуск від імені адміністратора.
3. Введіть wmic і натисніть Enter.

4. Введіть `diskdrive get status` і натисніть Enter.

Це призведе до простого результату: якщо диск несправний, підказка відобразить `Bad`, `Caution` або `Unknown`. Якщо диск справний, підказка відобразить `OK`.

Хоча це дає вам швидке уявлення про стан вашого жорсткого диска, воно не відобразить детальних показників – щоб побачити ці цифри, інсталюйте `CrystalDiskInfo` або подібну утиліту.

#### Доступ до даних SMART у Mac OS X

Ви можете переглянути дані SMART у Mac OS X через меню `System Report`. Знову ж таки, це базова інформація: ви зможете лише визначити, чи виходить з ладу пристрій чи ні.

Щоб переглянути інформацію:

1. Натисніть піктограму Apple на панелі меню.
2. У спадному меню виберіть «Про цей Mac».
3. Виберіть «Системний звіт».

4. Виберіть `SATA/SATA Express` у меню апаратного забезпечення в лівій частині екрана.

5. Знайдіть статус SMART.

На дисплеї з'явиться повідомлення `Перевірено`, якщо жорсткий диск працює належним чином. Якщо накопичувач виходить з ладу, на дисплеї з'явиться повідомлення `Failing` (Помилка).

Щоб переглянути докладніші дані SMART, вам потрібно буде встановити безкоштовний інструмент з відкритим кодом `smartmontools`, доступний тут. Після встановлення утиліти відкрийте термінал Mac OS і виконайте такі дії:

1. Введіть список `diskutil`.
2. Зверніть увагу на індекс жорсткого диска (`iv`).

3. Введіть `smartctl -a /dev/disk0`, замінивши `disk0`, якщо необхідно, правильним ідентифікатором з індексу диска.

Це відобразить додаткові атрибути SMART.

#### Читання детальних атрибутів SMART

Якщо ви просто хочете визначити, чи не виходить з ладу ваш жорсткий диск, ви маєте отримати відповідь до цього моменту, але якщо ви ботаник (як ми), вам може знадобитися додаткова інформація.

Покопавшись у атрибутах SMART, ви можете отримати більше інформації. Однак важливо зазначити, що різні виробники жорстких дисків мають різні методи вираження атрибутів SMART; уникайте робити широкі висновки щодо даних.

Атрибути SMART виражаються за допомогою ідентифікаційних номерів і шістнадцяткових кодів із встановленими пороговими значеннями, які вказують, чи кожна метрика знаходиться в межах «здорового» діапазону.

#### Чи варто створювати резервні копії жорсткого диска з попередженням SMART?

В ідеалі у вас буде комплексна стратегія резервного копіювання, і коли ви отримаєте попередження SMART, вам просто потрібно буде замінити жорсткий диск на інший пристрій зберігання даних.

У реальному світі втрата даних може статися в невідповідний момент. Якщо у вас немає резервної копії важливих файлів, можливо, ви зможете зробити резервну копію зі свого несправного диска, але будьте обережні.

– Якщо жорсткий диск виходить з ладу, його робота протягом будь-якого часу може погіршити проблему.

– Якщо на жорсткому диску вже виникають помилки пошуку, можливо, ви не зможете отримати непошкоджену копію важливих файлів.

– Не рекомендується намагатися виправити жорсткий диск із помилками SMART. Запуск `chkdsk` (`checkdisk`) або подібних утиліт може призвести до того, що жорсткий диск позначатиме читабельні сектори як «погані» або може призвести до збою, якщо вузол приводу диска вже вийшов з ладу.

Найбезпечнішим способом дії є передача вашого жорсткого диска кваліфікованому постачальнику послуг відновлення даних. Хоча відновлення даних може бути дорогим, воно, як правило, цілком доступне, коли диск перебуває на ранній стадії збою – технічні спеціалісти можуть безпечно клонувати диск у контрольованому середовищі, відстежуючи ознаки збою.

### **Живлення**

Однією із причин помилок у роботі є живлення. До цього привів неухильний ріст технічних характеристик, насамперед щільності запису й часу доступу. Швидке позиціонування головок вимагає точно керованого струму в котушці, що відхиляє, і будь-які перепади напруги заважають процесу.

Диски 3.5 живляться від ліній 5 В (процесор і інші сигнальні ланцюги) і 12 В (шпіндельний двигун і привод головок), причому основні проблеми доставляє контур 12 В. Справа в тому, що ця лінія випробовує різкий сплеск навантаження при включенні диска, коли відбувається розкручування шпінделя й распарковка блоку магнітних головок. Стартовий струм на 4-15 секунд досягає 1.2-2.5 А, при сталому споживанні всього 0.4-0.9 А. Особливо ненажерливі в цьому плані диски Seagate Barracuda: так, у сімействі 7200.11 пікове споживання може досягати 3.0 А.

У типових БЖ лінія 12 В не має своєї незалежної системи стабілізації, і при росту навантаження напруга може «законно» знижуватися на 0.5-0.6 В (стандартом АТХ допускаються відхилення  $\pm 5\%$  від номіналу, що в цьому випадку становить діапазон 11.4-12.6 В). Додамо до цього спадання напруги в сполучних проводах і розніманнях, і одержимо на контактах ЖД до 11.3 В, при якому багато дисків уже не можуть нормально працювати. Останні моделі Seagate, наприклад, вимагають не менш 11.5 В.

Схеми, що стежать, щоб уникнути падіння головок на пластини, аварійно паркують БМГ і зупиняють шпіндель. Споживання по 12 В знижується, стабілізація в блоці живлення відновлюється, і при номінальних напругах диск виходить на новий цикл старту.

Зовні все це виглядає, як клацання усередині системного блоку з періодичністю 6-10 сек. Диск, природно, не зорієнтується: для цього він повинен вийти на номінальні оберти, провести рекалібровку й взяти паспорт зі службової зони. У підсумку весь комп'ютер непрацездатний.

### **Охолодження**

Проблема нагрівання, і відповідно, відводу тепла – одна із самих гострих для сучасних НЖМД. Високооборотний шпіндель, швидкодіючий привод головок, і, нарешті, щільний потік даних при операціях читання й запису (до 100 Мбайт/с) вимагають значних витрат енергії. Типові накопичувачі середнього класу (нагадаємо, це форм-фактор 3.5", швидкість обертання 7200 об/хв і інтерфейс PATA/SATA) споживають 4-9 Вт у режимі простою, і 8-18 Вт при активній роботі – пересиланню даних і пошуку. Стартова потужність при розкручуванні шпінделя значно вище (16-35 Вт), але такий режим короточасний, до 10-15 сік, і на загальне нагрівання диска практично не впливає.

Вся ця потужність (з точністю до 1%) в остаточному підсумку виділяється у вигляді тепла, чим і пояснюється значне нагрівання НЖМД. Але ж він дуже шкідливий для механіки, і особливо для читаючих головок – ключового елемента всієї конструкції. Багатошарові тонкошарові магнітні резистори реагують як на магнітне поле, так і на температуру.

При тривалому перегріві головки деградують, їхня віддача (ступінь зміни опору залежно від намагніченості) зменшується, і зрештою мікропрограма при всіх математичних хитруваннях не може розпізнати, що саме записано на пластині – 0 або 1. Це стосується не тільки й не стільки користувальницьких даних: критично важливі для роботи сервомітки й модулі службової зони точно так само зчитуються усе гірше. Диск починає стукати, зорієнтується й у підсумку повністю виходить із ладу.

Тому виробники відміряють нинішнім НЖМД порівняно вузький діапазон робочих температур: нагрівання корпусу, обмірюваний у центрі кришки, не повинен перевищувати 60°, при температурі навколишнього середовища +5...55°, рідше 0...60°.

Нагрівання по SMART вище 45° у край небажаний: він ускладнює функціонування механіки ЖД (потрібні зайві рекалібровки), підвищує ймовірність помилок у даних, а головне – різко підсилює зношування головок читання. За деяким даними, кожні додаткові 5° прискорюють їхню деградацію вдвічі. Так що навіть нетривалий, але сильний перегрів (викликаний, наприклад, піковими навантаженнями, несправним вентилятором або просто жаркою погодою) ризикує відчутне скоротити життя диска, не говорячи про страшний – аварії.

Найгірший результат – заклинений шпіндель. Гідродинамічні підшипники сучасних накопичувачів, при всіх своїх перевагах (менший шум і нагрівання, здатність гасити вібрації) виявилися схильні до заклинювання в умовах підвищених температур. Видимо, погрішності у виготовленні перекреслюють теоретичні достоїнства конструкції. У деяких гарячих сімействах «клин» став нещастям.

Основним методом охолодження сучасних НЖМД залишається примусовий обдув за допомогою вентилятора. Інші варіанти тепловідвода – пасивні радіатори, теплові трубки, рідинні системи – не одержали поширення, хоча ряд фірм (зокрема, Zalman і Scythe) у різний час пропонував подібні рішення. Вони були безшумні, довговічні, але відрізнялися громіздкістю й високою ціною, що визначило вузьку нішу на ринку (складання особливо тихих комп'ютерів)

Підбор кулера для дисків має свою специфіку. Насамперед, загальне тепловиділення НЖМД і особливо його щільність порівняно малі, тому досить легенькі вітерцю, щоб зняти перегрів. Також, що оптимальна температура диска під навантаженням становить 35-40° (приблизно на 10° вище навколишнього середовища) і що всі його поверхні варто проохолоджувати рівномірно.

У подібних умовах кращим вибором стане тихохідний великогабаритний вентилятор, що дме в торець кошика із НЖМД, але не дотичний їй щоб уникнути вібрацій. Саме так улаштований обдув кошика в сучасних якісних корпусах.

Вентилятор кріпиться до вирізу передньої панелі, а декоративна кришка постачена повітрязаборниками. Витяжка через задню панель, що часто зустрічається в корпусах середнього класу, також досить ефективна (звичайно, при належній герметизації інших місць).

Практика показала, що 120-мм вентилятор здатний проохолоджувати до п'яти НЖМД, так що потреби звичайних користувачів покриваються повністю. Для одного-двох дисків обдув навіть надлишковий, так що з метою зниження шуму можна зменшити швидкість обертання до 600-1000 про./хв.

### **Несправності апаратної частини**

#### **Ушкодження серворозмітки**

У результаті ушкодження серворозмітки може стати не читаємою деяка область диску, причому спроби читання можуть супроводжуватися тривалими затримками й сильним стукотом головок. Як правило диском ще можна користуватися, працюючи в його справній частині, і навіть можна досягти повної функціональності, відкоригувавши списки збійних треків у службовій області диска, однак область ушкодженої серворозмітки виявляється безповоротно загубленою, неї відновити можна тільки за допомогою серворайтера.

Серворайтер – прилад для нанесення сервометок на млинці харда. Застосовується тільки на заводі, жодна ремонтна майстерня не може собі дозволити мати його – це дуже дорогий прилад (~100 тис \$). Принцип дії серворайтера заснований на русі головок зовнішнім механічним пристроєм через технологічні вікна в гермоблоці. Для контролю за переміщенням використовується лазерний приціл і явище інтерференції світлових хвиль. Після закінчення серворозмітки технологічні вікна заклеюються плівкою й на гвинт установлюється плата електроніки.

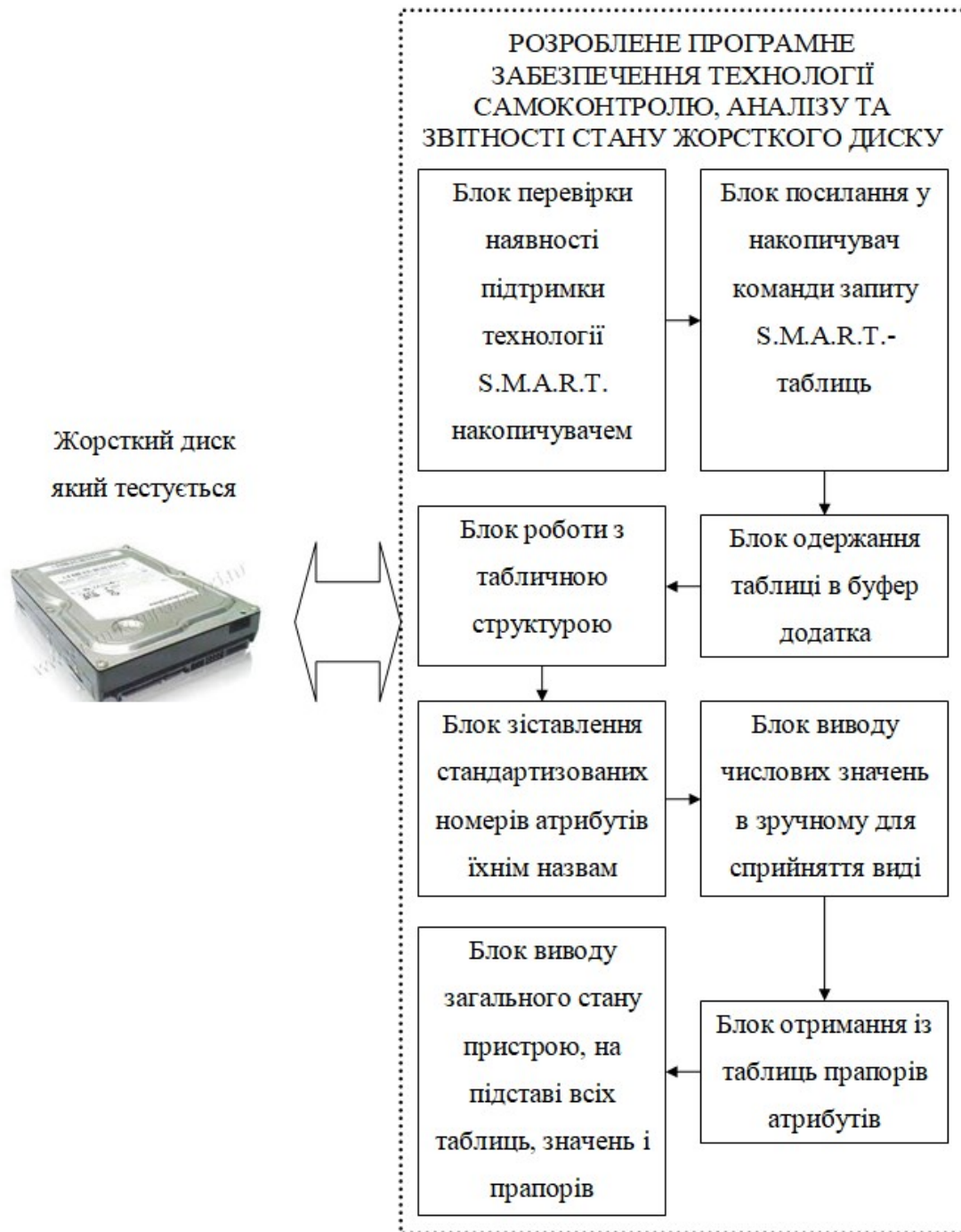


Рисунок 1 – Структурна схема системи

**Bad-блоки**

Bad-блоки (биті сектори) – найпоширеніша проблема у всіх накопичувачів. Bad-блоки – це сектора жорсткого диска, які є збійними або що не читаються, ці сектори є механічно ушкодженими або магнітними здатностями, що втратили свої. Відбувається це, як правило через удари, струсів, падіння головки, або просто згодом від зношування.

Проявляються дані несправності в повільній роботі жорсткого диска, помилках при записі або читанні даних з HDD, і як наслідок незначна втрата даних. Можливі так само більше серйозні наслідки, такі як втрата логічних розділів, або неможливість запуску ОС.

Відновлення ушкоджених секторів у цьому випадку можливо тільки при низькорівневому форматуванні, наприклад програмою MHDD, але це можливо тільки при втраті своїх властивостей магнітною поверхнею згодом, але ніяк не при механічних

ушкодженнях. Але й низькорівневе форматування може не дати ніякого результату, або дати його ненадовго.

Якщо низькорівневе форматування не допомогло, і биті сектори залишилися, то єдиним способом ремонту залишається – “викинути” ці сектори зі службової зони, для того щоб жорсткий диск не робив на них запис і читання. Але для цієї операції необхідний програмно апаратний комплекс PC3000, що виконає цю операцію на низькому рівні. Обсяг жорсткого диска при цьому не зміниться, “викинуті” сектори будуть замінені резервними.

### Розробка структурної схеми

Стан працездатності оцінюється по декількох параметрах роботи накопичувача, які називаються атрибутами надійності – attributes. Кожний атрибут має свій номер – ID (ідентифікатор). Атрибутам надійності відповідають параметри роботи накопичувача, які можуть характеризувати його природне зношування й передаварійний стан.

На рисунку 1 зображена структурна схема розробленої системи моніторингу стану жорсткого диску з використанням технології SMART.

Структурна схема складається з наступних блоків:

- Блок перевірки наявності підтримки технології S.M.A.R.T. накопичувачем.
- Блок посилення у накопичувач команди запиту S.M.A.R.T.-таблиць.
- Блок одержання таблиці в буфер додатка.
- Блок роботи з табличною структурою, що витягає з них номери атрибутів і їхні числові значення.
- Блок зіставлення стандартизованих номерів атрибутів їхнім назвам (іноді – залежно від типу, моделі або фірми-виробника HDD).
- Блок виводу числових значень в зручному для сприйняття вигляді.
- Блок отримання із таблиць прапорів атрибутів (ознаки, що характеризують призначення атрибута в рамках конкретної firmware накопичувача, наприклад, «життєво важливий» або «лічильник»).
- Блок виводу загального стану пристрою, на підставі всіх таблиць, значень і прапорів.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску; Досліджена система на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання на базі технології самоконтролю, аналізу та звітності стану жорсткого диску. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

### Список літератури

1. Smirnov O., Kuznetsov A., Kryvinska N., Kiiian A., Kuznetsova K. «Full Non-Binary Constant-Weight Codes». SN Computer Science, Vol 2, 337, 2021. <https://doi.org/10.1007/s42979-021-00739-w>.
2. Smirnov O., Kovalenko O., Kovalenko A., Kavun S. «Quantitative Risk Assessment Method Development in the Context of the SDLC-model». 2021 IEEE 8th International Conference on Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), 2021, pp. 203-208, doi: 10.1109/PICST54195.2021.9772143
3. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
4. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». International Journal of Computing; 2020,

- Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020. – P. 247-256.
5. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
  6. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
  7. Smirnov, O., Shekhanin, K., Kuznetsov, A., Krasnobayev, V. «Detecting Hidden Information in FAT». International Journal of Computer Network and Information Security (IJCNIS). Vol. 12, No. 3, 2020. PP.33-43.
  8. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
  9. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
  10. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
  11. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.
  12. Smirnov, O., Krasnobayev, V., Yanko, A., Kuznetsova, T. «Methods of nulling numbers in the system of residual classes». CEUR Workshop Proceedings, Vol 2588, P. 90-106, 2019.
  13. Kuznetsova, T., «Code-Based Schemes for Post-Quantum Digital Signatures», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P. 707-712.
  14. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Stefanovych, O., Gorbenko, Y., Krasnobayev, V., Kuznetsova K. «Information Hiding Using 3D-Printing Technology», 10th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2019; Metz; France; 18-21 September 2019. P.701-706.
  15. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kovalchuk, D., Averchev, A., Pastukhov, M., Kuznetsova, K., «Formation of Pseudorandom Sequences with Special Correlation Properties», 2019 3rd International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT -2019/ Lviv, Ukraine, 2-6 July, 2019, P. 395-399.
  16. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
  17. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». Кібербезпека: освіта, наука, техніка. 2024. №3(23), С. 111-131.
  18. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А., Коваленко А.С. «Дослідження нормативних документів та галузевих стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». Системи управління, навігації та зв'язку, 2023, вип. 2(72), С. 170-178.
  19. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». Сучасні інформаційні системи, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
  20. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко О.В., Смірнов С.А. «Дослідження нормативної документації та стандартів розробки програмного забезпечення комп'ютерних систем управління АЕС, важливих для безпеки». VI міжнародна науково-практична конференція “Інформаційна безпека та комп'ютерні технології”, м. Кропивницький. 20-21 квітня 2023 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2023. – С. 35-36.