

УДК 004.5

**Б. О. Березін<sup>1</sup>, С. І. Примушко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Інститут проблем реєстрації інформації НАН України  
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

<sup>2</sup>ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України»  
вул. Е. Потьє, 16, 03680 Київ, Україна

## Протидія деструктивним впливам при архівному зберіганні інформаційних об'єктів на оптичних носіях

*Запропоновано складові для оцінки живучості інформаційних об'єктів при архівному зберіганні на оптичних носіях. Отримані оцінки можуть бути використані при оптимізації характеристик носіїв і для підтримки рівня живучості інформаційних об'єктів, що зберігаються.*

**Ключові слова:** інформаційні об'єкти, оптичні носії, оцінка живучості, CD/DVD, сапфірові оптичні диски, комп'ютерний архів.

### Постановка проблеми, її актуальність та аналіз публікацій

За даними компанії IDC, швидке зростання загального об'єму цифрових даних у світі (2013 р. — 4 Зеттабайт (Збайт), 2020 р. — 40 Збайт) веде до значного збільшення об'єму архівних даних. Із близько 10 Збайт нових даних, які будуть створені у 2020 р., майже 5 Збайт будуть складати об'єми ринку архівних даних. Цей об'єм приблизно порівну буде розподілений між холодним архівом (даними, що рідко використовуються, не змінюються та зберігаються довготерміново: аудіо-записи, медичні зображення, документація завершених проектів, правові документи тощо) та гарячим архівом, дані з якого використовуються частіше.

Для довготермінового зберігання даних холодних архівів актуальними є рішення на основі оптичних носіїв [1]. Компанія Facebook, у якої накопичено значні об'єми інформації, оголосила про плани використання оптичних дисків Blu-ray для довготермінового зберігання даних, що знаходяться в «холодних» архівах, до яких звертаються не часто. Раніше для зберігання таких даних у Facebook використовувалися накопичувачі на магнітних стрічках і жорстких дисках. Роботизована бібліотека на дисках Blu-ray компанії Panasonic встановлена у центрі обробки даних Санкт-Петербурзького державного університету. Компанія Hitachi теж почала випускати оптичну архівну систему на базі бібліотеки BD-дисків. Компанія Alliance Storage Technologies випускає бібліотеки, сумісні з оптичними дисками UDO. Оптичні носії UDO використовуються для зберігання електронних колекцій

у Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського. Крім впровадження систем із використанням BD- та UDO-носіїв, проводяться розробки оптичних носіїв на основі нових матеріалів: сапфірових оптичних дисків, кварцового носія з нанорешіткою, вольфрамо-нітридокремнієвого носія [2–4]. Нарешті, значні об'єми даних у бібліотеках та архівах продовжують зберігатися на дисках форматів CD, DVD [5–10]. На початку 2000-х років у ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України» впроваджено архівний накопичувач на оптичних дисках DVD під операційною системою Saregion. На сьогодні комп'ютерний архів копій геологічних звітів на компакт-дисках налічує біля 3,5 тис. DVD. У Центральному державному електронному архіві України при організації фондів для зберігання архівних колекцій теж були використані диски DVD.

Враховуючи великі об'єми інформації та значні терміни архівного зберігання, актуальним є планування її довготермінового зберігання на оптичних носіях, забезпечення збереження інформації в умовах деструктивних впливів і загроз, пов'язаних зі старінням носіїв, апаратного та програмного комплексів, форматів даних, а також з помилками операторів, мережевими атаками тощо. Тобто, необхідно забезпечення живучості інформації, яка зберігається на носіях. Під живучістю звичайно розуміють властивість об'єкта виконувати свої основні функції в умовах негативних впливів, за необхідності тимчасово або постійно відмовляючись від виконання менш важливих функцій, змінюючи структуру, пристосовуючись до умов свого функціонування [11]. Основною функцією інформаційних об'єктів (файлів з інформацією, електронних документів тощо) є інформування користувачів. Тому живучість інформаційних об'єктів (ІО) на оптичних носіях передбачає забезпечення цілісності, доступності інформації для користувачів у процесі довготермінового зберігання в умовах негативних впливів.

Для оцінки терміну служби оптичних носіїв часто використовують рекомендації міжнародних стандартів ECMA-396, ISO/IEC 10995:2011, що специфікують методи прискореного тестування терміну служби оптичних дисків (умови тестових навантажень: температура та відносна вологість для моделей Ейрінга та Арреніуса, опис системи оцінки тощо). Крім того, в ряді розробок (кварцового носія з нанорешіткою, вольфрамо-нітридокремнієвого носія [3, 4]) використовують безпосередньо моделі Арреніуса. Але на етапі оптимізації характеристик оптичного носія, плануванні довготермінового зберігання ІО таких загальних оцінок може бути недостатньо. З метою отримання більш детальних оцінок довготермінового зберігання на етапі оптимізації характеристик сапфірового диска [2], а також оцінок зберігання ІО на CD/DVD-носіях, у даній роботі розглядаються складові живучості інформаційних об'єктів, що зберігаються [12].

### **Складові живучості ІО при зберіганні на оптичних носіях. Оцінка початкової та поточної надлишковості ІО на оптичних носіях**

Унаслідок особливостей технології запису інформації, оптичні диски вміщують деяку кількість помилок, число яких зростає в процесі довготермінового зберігання. Для корекції помилок, при зчитуванні інформації передбачена система, що використовує надлишковість та перемежування. Але можливості системи

корекції стандартного оптичного приводу обмежені, тому наявність помилок характеризує зниження функціональності оптичних носіїв з ІО. Тобто, забезпечення живучості, зменшення помилок можливо шляхом оптимізації технології запису, властивостей носія або умов довготермінового зберігання. Для оцінки стану та функціональності записаних носіїв формату CD може використовуватися показник помилок C1 або BLER (Block Error Rate — кількість блоків даних із помилками, які можуть бути виправлені декодером першого рівня), його допустиме значення 220 помилок на секунду. При вимірюванні щільності помилок для дисків формату DVD використовується значення PIE (Parity Inner Error) — кількість рядків парності блоку ECC із помилками (Error Correction Code — код корегування помилок), а точніше PI Sum 8 — значення для 8-ми послідовних ECC з блоку. Максимальне допустиме значення PI Sum 8 складає 280 помилок на секунду.

Оцінка початкової та поточної надлишковості ІО на оптичних носіях. Живучість інформаційних об'єктів на оптичних носіях значною мірою залежить від надлишковості інформації, що зберігається, та стабільності матеріалів носія. Щодо надлишковості інформації, можна виділити початкову надлишковість (можливість корегувати помилки) та поточну надлишковість у процесі зберігання. Початкову надлишковість (і живучість) можна оцінювати за допомогою показника помилок (для формату CD — BLER; для DVD — PIE) безпосередньо після запису інформації на оптичний носій. Вона залежить від якості носія, технології запису тощо. Поточна надлишковість теж оцінюється показником помилок і залежить від рівня початкової надлишковості та змінюється в процесі зберігання залежно від стабільності матеріалів, умов зберігання тощо. Відповідно до стандарту Red Book для CD-дисків, залежно від вимірюваного значення показника BLER розділяють наступні градації дисків: Grade A (BLER < 6) — диски високої якості; Grade B (BLER < 50) — диски хорошої якості; Grade C (BLER < 100) — диски задовільної якості; Grade D (BLER < 220); Grade F (BLER > 220).

Для оцінки складових живучості ІО на оптичних носіях у 2015 р. було проведено тестування показників помилок BLER (C1) та PIE біля 70-ти носіїв формату CD-R (52 % Verbatim, 42 % Samsung, 6 % — інші виробники) та більше 30-ти носіїв формату DVD+R (99 % Verbatim) з комп'ютерного архіву геологічних матеріалів ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України» (рис. 1–3). На оптичних дисках зберігаються звіти про геологічні дослідження, записані на носії у форматі PDF у період з 2002 р. по 2014 р. На рис. 1 наведено два графіки (ряд 1 і ряд 2), що отримані на основі тестування показників помилок BLER (C1) CD-R дисків, записаних у період з другої половини 2005 р. по 2012 р. (ряд 1) та в період з 2002 р. до першої половини 2005 р. (ряд 2) — різниця в середньому складає біля 5-ти років. Графіки показують невелику різницю у значеннях показника помилок між більш новими CD-R, записаними у 2005–2012 рр., та CD-R, записаними раніше, у 2002–2005 рр. Крім того, більша частина графіків розміщена нижче значення 100 показника помилок, тобто попадає у градацію задовільної якості.

Два інших графіки (ряд 3 та ряд 4) розраховані за допомогою даних про зберігання колекції CD-дисків у Бібліотеці Конгресу США [13] та наведені для порівняння. Вони стосуються однієї колекції носіїв та були розраховані за даними тестування дисків з періодом у шість років. Близькість графіків вказує на незначні зміни показника помилок за цей час (різниця між початковою надлишковістю та

поточною надлишковістю через шість років для тих дисків та умов зберігання була невеликою). На рис. 1 осі представлені в логарифмічному масштабі. Тому близькій до прямої лінії характер розподілів показує можливість їхньої апроксимації степеневою функцією. Тобто більша частина носіїв з вибірки характеризується невисоким рівнем помилок, у той же час є незначна кількість дисків із показниками помилок, що перебільшують допустиме значення. Наведені на рис. 1 розподіли показують, що для більшості зберігаємих в архіві та бібліотеці носіїв показник помилок BLER знаходиться в діапазоні від 10 до 100. Враховуючи граничне значення показника 220 (горизонтальна лінія на графіку) рівень надлишковості та відповідно живучості інформації на носіях значний. У цілому, графіки на рис. 1 характеризують процес природного старіння оптичних носіїв.

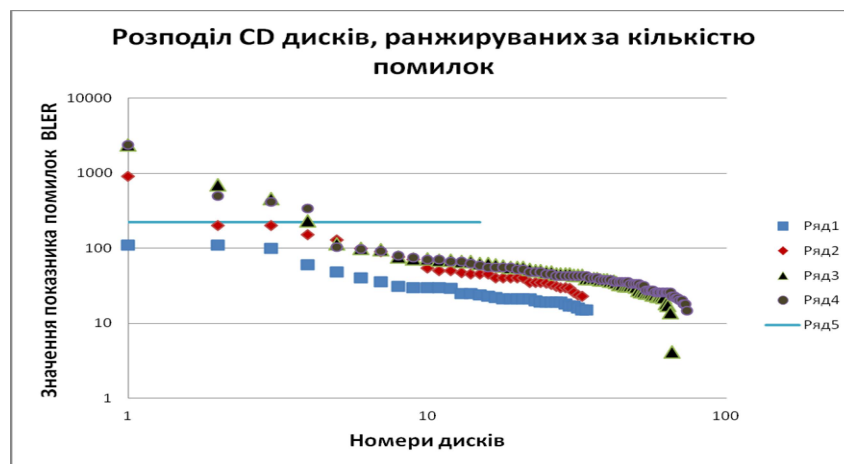


Рис. 1. Розподіл CD-дисків, ранжированих за кількістю помилок

На рис. 2 наведено два графіки (ряд 1 та ряд 2), отримані на основі тестування показників помилок PIE для дисків DVD+R, записаних у період 2014 р. (ряд 1) та у період з 2008 р. до 2013 р. (ряд 2) — різниця в середньому складає біля 4-х років. Ці графіки розміщуються достатньо близько один від одного, тобто різниця між початковим і поточним рівнем надлишковості та живучості для ІО, що зберігаються, незначна. Вісь ординат для графіків представлена у логарифмічному масштабі, графіки наближені до прямої, тобто вони можуть бути апроксимовані експоненціальною функцією (розмір вибірки невеликий). Горизонтальна пунктирна лінія відображає граничний рівень для DVD+R — 280 помилок на секунду. Тобто, основна кількість дисків з ІО (за винятком кількох) знаходиться нижче цього рівня та нижче рівня в 100, що дозволяє віднести їхню якість до градації задовільної.

Оскільки ІО при довготерміновому зберіганні на оптичних носіях піддаються негативним впливам у часі, для їхнього представлення на графіку доцільно використовувати відповідну вісь. Процес накопичення пошкоджень при зберіганні ІО на оптичних носіях представлений на рис. 1, для оцінки живучості представлено у вигляді двох поверхнь (рис. 3). Вісь  $Y$  — відображає номери дисків, вісь  $Z$  — значення показників помилок BLER для цих дисків, вісь  $X$  — роки, протягом яких накопичувалися пошкодження в дисках. Більша поверхня стосується живучості ІО на CD з колекції Бібліотеки Конгресу США [13]. Можна вважати, що ближній

край поверхні відображає початковий розподіл показника помилок (дозволяє оцінити початковий рівень надлишковості, живучості), а дальній край поверхні — поточний розподіл показника помилок через шість років (поточний рівень надлишковості). Менша поверхня стосується живучості ІО на CD з комп'ютерного архіву. Вважаємо, що ближній край поверхні відображає початковий розподіл показника помилок (для дисків, записаних у період з другої половини 2005 р. по 2012 р.) і дозволяє оцінити початковий рівень надлишковості, живучості. Та її дальній край відображає поточний розподіл показника помилок для дисків, записаних у період з 2002 р. до першої половини 2005 р.

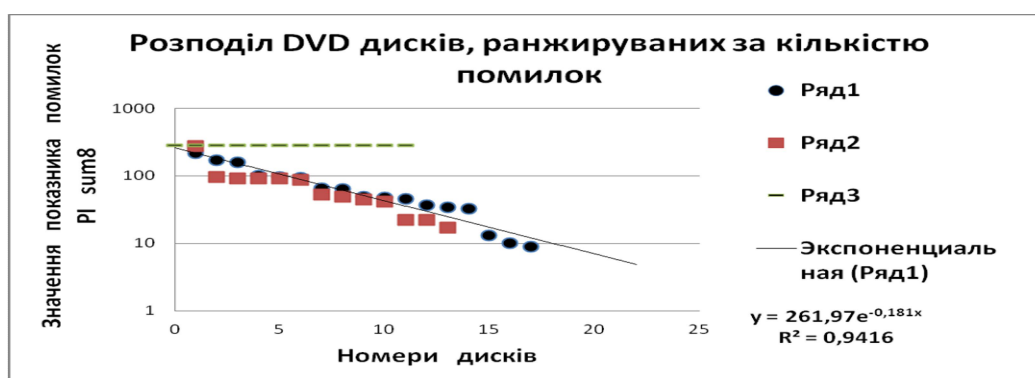


Рис. 2. Розподіл DVD+R дисків, ранжированих за кількістю помилок

Тривимірний графік, на відміну від рис. 1 і 2, дозволяє відобразити накопичення пошкоджень у часі: результати тестувань помилок з періодом у кілька років, або зміни у інших складових живучості — відбиваючого покриття, форматів представлення даних тощо.

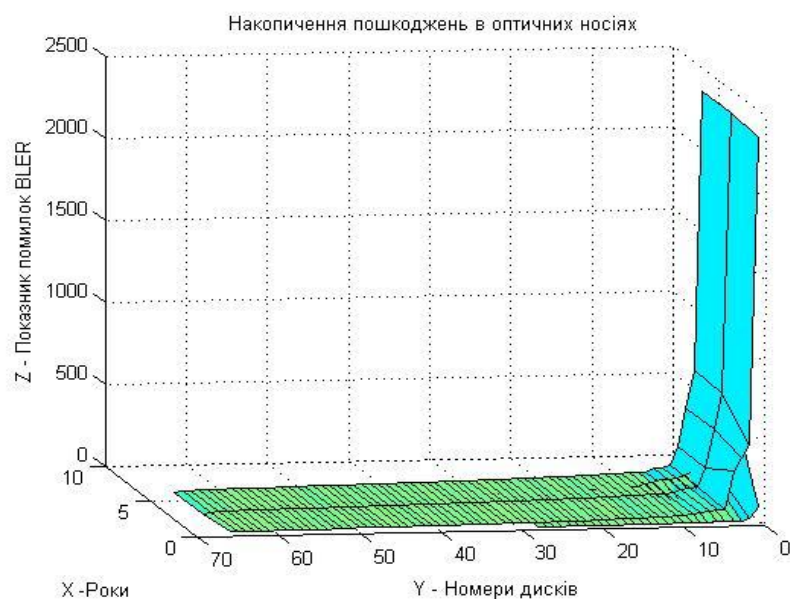


Рис. 3. Характеристики накопичення пошкоджень при зберіганні ІО на CD-дисках

## Стабільність відбиваючого покриття оптичних носіїв

У роботах, присвячених оцінці стабільності даних та аналізу факторів деградації DVD-дисків для архівного застосування [6–9] наголошується на важливості стабільності відбиваючого покриття наряду зі стабільністю даних. Для аналізу причин зростання кількості помилок PI sum 8 в ході прискореного старіння в [6] використовувалися сканувальний електронний мікроскоп для спостереження мікроструктурних змін полікарбонатної підкладки і відбиваючого шару, та електронний спектроскоп для хімічного аналізу змін у відбиваючому шарі. Механізм деградації оптичних носіїв через мікроструктурний та хімічний аналіз підкладки та відбиваючого шару. Фактори деградації дисків DVD+R досліджувались у процесі тестового прискореного старіння при 85 °С та 85 % відносної вологості. Після 250-ти годин прискореного старіння атоми карбонату були знайдені на поверхні відбиваючого шару. Тобто, серед причин росту кількості помилок, крім фізичної деформації записаних елементів, є деградація та зменшення відбиття із-за дифузії карбонату у відбиваючий шар. У роботі [7] наголошується, що цілісність відбиваючого металевого шару є однією зі складних проблем у стабільності оптичного диска. На відміну від носіїв CD, де металевий шар захищений слабо, в DVD цей шар з обох сторін захищено полікарбонатом. Основним шляхом деградації металу в DVD є хімічний, тобто корозія.

У роботах, що присвячені оптимізації характеристик архівних сапфірових дисків [14–16], які виготовляються на основі високостабільних матеріалів, підкреслюється актуальність забезпечення відповідної стабільності відбиваючого покриття та високої адгезії між підкладкою і відбиваючим покриттям. Показники помилок є загальною характеристикою початкового або поточного стану ІО на оптичних носіях та їхньої живучості. Для сапфірових дисків довготермінового зберігання, як важливої складової живучості ІО, необхідно враховувати стабільність відбиваючого покриття, яка може особливо впливати на поточні показники помилок, надлишковість і живучість. З метою оптимізації характеристик відбиваючого покриття проводяться температурні випробування [14–16] при значеннях 500–900 °С (на відміну від 80–90 °С для стандартних CD/DVD). На основі робіт [15, 16] у таблиці наведено окремі результати випробувань, що отримані для зразків сапфірових дисків з різними варіантами відбиваючого покриття. Ці результати можуть враховуватися для оцінки живучості сапфірових носіїв.

Випробування варіантів відбиваючого покриття

Матеріал відбиваючого покриття	Температурний режим	Стан покриття після отжигу
Нітрид хрому	700 °С — 1 год.	У зразків спостерігається деградація відбиваючого покриття. Коефіцієнт відбиття змінився з 25–30 % (перед випробуваннями на границі метал/сапфір) до приблизно 5–10 %
Нітрид хрому	900 °С — 1 год.	
Нітрид гафнію	700 °С — 1 год.	Спостерігається деградація відбиваючого покриття. Коефіцієнт відбиття змінився з 30 % (перед випробуваннями на границі метал/сапфір) до приблизно 10 %
Нітрид алюмінію	700 °С — 1 год.	

Продовження таблиці

Плівка ніхрому 50 нм	500 °С — 1 год. + 800 °С — 2 год.	Після відпалу 500 °С (1 год.) відбиття знижується, (пропускання 10–20 % у діапазоні 400–650 нм збільшується до 15–60 %). Але отримане після відпалу покриття потім витримує 800 °С (2 год.) без зміни відбиття (пропускання 15–60 %, коефіцієнт відбиття 35 % — метал-діелектрик, 40 % — метал-повітря)
----------------------	--------------------------------------	---

### Стабільність і відкритість форматів представлення інформації

Для забезпечення живучості інформації на архівних дисках, тобто доступності її для використання через значний інтервал часу, необхідно використання спеціальних форматів представлення даних. Електронні документи створюються та існують у динамічному середовищі, для якого характерна безперервна зміна технологій. Одним із способів вирішення проблеми є розробка та регламентація застосування архівних форматів [17, 18]. Прикладом може бути формат PDF/A (PDF/A-1, PDF/A-2, PDF/A-3).

Якщо не обмежувати і не контролювати формати прийнятих на зберігання електронних документів, то архіви стикаються з необхідністю конверсії документів у нові формати. Використання при архівному збереженні стабільних стандартних форматів дозволяє істотно подовжити час між послідовними конверсіями електронних документів і зробити цей процес більш передбачуваним. Часто для здачі документів на архівне зберігання використовуються архівні контейнерні формати, що дозволяють упакувати в один електронний об'єкт як файли документів, так і їхні метадані. Велике значення має також відкритість і поширеність форматів. Під відкритістю розуміють наявність загальнодоступного, вичерпного опису; відсутність правових обмежень; управління форматом з боку відомих міжнародних установ. Використання відкритих форматів гарантує, що за певних зусиль документи можна буде прочитати навіть через тривалий час, коли ці формати і відповідне програмне забезпечення вже застаріють. У роботі [18] пропонується веб-сервіс, що створюється для оцінки можливих ризиків від використання різних форматів даних при плануванні довготермінового зберігання інформації.

Для оцінки живучості ІО було отримано розподіл контенту інтернет-середовища за різними версіями формату PDF: на версії формату 1.0, 1.1, 1.2 та 1.7 припадають одиниці відсотків інтернет-ресурсів, у той час як на версії формату 1.3–1.6 припадають десятки відсотків ресурсів (рис. 4). Версії формату PDF, що використовувалися при записуванні файлів на протестованих у комп'ютерному архіві дисках CD-R розподілені приблизно так: 1.3 — 20 %, 1.4 — 50 %, 1.5 — 30 %. У цілому це відповідає розподілу версій формату PDF в інтернет-середовищі, наведеному на рис. 4. На протестованих дисках DVD+R більше 90 % записаних файлів у форматі PDF версії 1.5.



Рис. 4. Дані про розподіл версій формату PDF в інтернет-середовищі

### Забезпечення живучості ІО при зберіганні на оптичних носіях

Враховуючи складові живучості, розглянуті вище, найбільш перспективним напрямком забезпечення живучості ІО є підвищення стабільності матеріалів носія. Значні можливості для створення оптичних носіїв довготермінового зберігання даних надає використання підкладок із сапфіру [3]. Перевага носіїв, підкладки яких виконані із синтетичного сапфіру, полягає в тому, що вони витримують вплив підвищених температур (більше 2000 °С), мають високу механічну міцність і майже необмежений термін зберігання інформації. Сучасні оптичні носії масового використання (компакт-диски) мають підкладки з полікарбонату, часова стабільність якого є низькою [5–10]. Окрім того, металеве відбивальне покриття компакт-диска характеризується слабкою адгезією до підкладки з полікарбонату, що призводить до швидкого розшарування носія під час використання, особливо при різких змінах температури. Розглянуті вище складові живучості ІО, а також отриману статистику відносно стандартних носіїв CD/DVD, доцільно використовувати для оптимізації характеристик носіїв аналогічного формату на основі високостабільних матеріалів.

У разі зберігання на стандартних дисках CD/DVD, для підтримки необхідного рівня живучості ІО пропонується наступна процедура.

*Оцінка початкової надлишковості.* Для цього, після запису ІО за допомогою тестування показника помилок BLER (або PIE) перевіряється діапазон наявних помилок. Якщо він не відповідає — необхідне використання більш якісного носія, оптичного приводу тощо. Отримане початкове значення включається до складу метаданих ІО на носії разом з датою тестування. Після виконання кількох десятків записів носіїв і тестувань перевіряється загальний рівень початкової надлишковості шляхом побудови ранжируваного розподілу дисків за показником BLER або PIE (аналогічно рис. 1, 2).

*Оцінка поточної надлишковості.* З періодом від 1-го до 3-х років, залежно від якості носіїв, виконується оцінка поточної надлишковості шляхом тестування стану запису ІО у вибірці з не менш як 50-ти носіїв. (Вибірка повинна дозволити оцінити степеневий, або експоненційний характер розподілу ранжированих за показником BLER або PIE дисків). На основі отриманого розподілу визначаються найбільш проблемні носії у складі вибірки та їхній відсоток. За необхідності, ви-



конується міграція ІО з проблемних носіїв на нові. Крім того, визначається відсоток проблемних носіїв у вибірці, та, відповідно, у всій колекції, що зберігається. Залежно від величини відсотків проблемних носіїв у колекції може бути продовжено тестування з метою їхнього виявлення та міграції ІО на нові носії. Нарешті, ранжируваний розподіл носіїв, отриманий при оцінці поточної надлишковості може порівнюватись із відповідним розподілом для початкової надлишковості, що характеризує швидкість зменшення надлишковості.

*Оцінка стабільності форматів.* Може виконуватись шляхом оцінки поширеності версій відповідних форматів у мережі Інтернет (як на рис. 4), а також за допомогою відповідних міжнародних інтернет-сервісів і проектів з оцінки старіння та підтримки форматів. Серед них — інформаційна система про файлові формати та програмне забезпечення, що їх підтримує, при Національних архівах Великої Британії (<http://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM/Default.aspx> )

## Висновки

Запропоновано складові для оцінки живучості інформаційних об'єктів при зберіганні на оптичних носіях: початкова надлишковість, поточна надлишковість, стабільність відбиваючого покриття, стабільність і відкритість форматів, які використовуються для представлення ІО на оптичних носіях.

Для опосередкованої оцінки рівня живучості ІО на оптичних носіях (початкової та поточної надлишковості), серед інших пропонується використовувати розподіл вибірки дисків, ранжируваних за кількістю помилок. Розподіл, який може бути апроксимовано степеневою (або експоненційною, в разі меншого обсягу вибірки) функцією, відображає долю дисків з ІО високої надлишковості та долю дисків, що є близькими до граничного стану.

Запропоновані складові для оцінки живучості можуть бути використані при оптимізації характеристик сапфірових дисків [3]. На їхній основі сформульовано процедуру підтримки рівня живучості ІО при архівному зберіганні на стандартних CD/DVD-носіях.

## Подяка

Автори висловлюють подяку завідувачу відділом Інституту проблем реєстрації інформації НАН України, д.т.н. Д.В. Ланде за наукове керівництво роботою та співробітникам комп'ютерного архіву геологічних матеріалів ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України» за сприяння у проведенні тестування оптичних носіїв, без яких дане дослідження було б неможливе.

1. Митин В. Российские организации начинают строить электронные архивы на оптических дисках PC Week/RE, 06.11.2015 [Електронний ресурс] / В. Митин. — Режим доступу: <http://www.pcweek.ru/infrastructure/article/detail.php?ID=179684>. — Назва з екрану.

2. Петров В.В. Новітня технологія довготривалого зберігання інформації на сапфірових оптичних дисках / В.В. Петров, В.П. Семиноженко // Вісн. НАН України. — 2014, — № 4 — С. 24–32.

3. *Seemingly Unlimited Lifetime Data Storage in Nanostructured Glass* / Zhang J., Gecevičius M., Beresna M., Kazansky P.G. // Physical Review Letters. — 2014. — Vol. 112, N. 3. — P. 033901-1–033901-5.

4. *Towards Gigayear Storage Using a Silicon-Nitride/Tungsten Based Medium* / J. de Vries, D. Schellenberg, L. Abelmann [et al.] // arXiv preprint arXiv:1310.2961. — 2013.
5. *Accessibility of Data Backup on CD-R after 8 to 11 years* / P.M.A. van Ooijen [et al.] // *Journal of digital imaging*. — 2010. — Vol. 23, N. 1. — P. 95–99.
6. *Evaluation of data stability and analysis of degradation factors of digital versatile disk recordable (DVD+ R) for archival application* // K.Y. Lee [et al.] // *Japanese Journal of Applied Physics*. — 2012. — Vol. 51, N 8S2. — P. 08JC01-1-5
7. *Iraci J. The Stability of DVD Optical Disc Formats* / J. Iraci // *Restaurator*. — 2011. — Vol. 32, N. 1. — P. 39–59.
8. *Analysis of the plastic substrates, the reflective layers, and the adhesives of today's archival-grade DVDs* / G. Jiang [et al.] // *Optical Data Storage 2010*. — International Society for Optics and Photonics, 2010. — С. 77301N–77301N-8.
9. *Lambert J.M. Analysis of aged CD-R: From optical HF signal defects to digital errors* / J.M. Lambert, J. Perdereau // *Measurement*. — 2011. — Vol. 44, N 8. — С. 1329–1336.
10. *Добрусина С.А. К вопросу о долговечности оптических дисков* / С.А. Добрусина, И.Г. Тихонова // *Сохранение электронного контента в России и за рубежом: сб. материалов Всероссийской конференции (Москва, 24–25 мая 2012 г.)*. — 2013. — С. 81–90.
11. *Додонов А.Г. Живучесть информационных систем* / А.Г. Додонов, Д.В. Ландэ. — К.: Наук. думка, 2011. — 256 с.
12. *Березін Б.О. Складові живучості інформаційних об'єктів при довготерміновому зберіганні на оптичних носіях* / Б.О. Березін // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних: зб. наук. праць за матеріалами Щорічної підсумкової наук. конф. 14–15 травня 2015 року Інституту проблем реєстрації інформації НАН України*. — 2015. — С. 27–29.
13. *Shahani C.J. Longevity of CD Media Research at the Library of Congress* / C.J. Shahani, V. Manns, M. Youket // *Preservation Research and Testing Division Library of Congress*. — Washington DC (USA). — 2005. — 14 p.
14. *Петров В.В. Высокотемпературные защитные отражающие покрытия для носителей долговременного хранения данных* / В.В. Петров, А.А. Крючин // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних: зб. наук. праць за матеріалами Щорічної підсумкової наук. конф. 14–15 травня 2015 року Інституту проблем реєстрації інформації НАН України*. — 2015. — С. 3–4.
15. *Шиховец А.В. Изучение изменений свойств отражающих покрытий для долговременных носителей информации* / А.В. Шиховец // *Реєстрація, зберігання і оброб. даних: зб. наук. праць за матеріалами Щорічної підсумкової наук. конф. 14–15 травня 2015 року Інституту проблем реєстрації інформації НАН України*. — 2015. — С. 17–19.
16. *Березін Б.О. Живучість інформаційних об'єктів при довготерміновому зберіганні із використанням архівних носіїв* / Б.О. Березін, Д.В. Ландэ, О.В. Шиховец // *Информационные технологии и безопасность: основы обеспечения информационной безопасности: материалы Международ. науч. конф. ИТБ-2014*. — К.: ИПРИ НАН Украины, 2014. — С. 40–45.
17. *Мелашенко А.О. Формат долгосрочного хранения электронных документов* / А.О. Мелашенко, О.Л. Перевозчикова, Е.С. Скарлат // *Компьютерная математика: сб. науч. труд.* — 2011. — № 1. — С. 106–115.
18. *Graf R. A risk analysis of file formats for preservation planning* / R. Graf, S. Gordea // *Proc. of the 10-th Internation. Conf. on Preservation of Digital Objects (iPres2013)*. — 2013. — P. 177–186.

Надійшла до редакції 08.12.2015