

# ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

---

## COMPUTER SCIENCE, COMPUTER ENGINEERING AND CONTROL

УДК 004.085.3:004.052.34  
doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-1

### Некоторые результаты контроля целостности оптических дисков с записью по результатам четырех лет хранения в архиве

А. В. Чернышов

Мытищинский филиал Московского государственного  
технического университета имени Н. Э. Баумана,  
Мытищи-5, Московская область, Россия  
sch-ru@yandex.ru

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* При проектировании электронных архивов длительного хранения на базе оптических дисков однократной записи необходимо учитывать множество параметров, наиболее существенными среди которых являются: вероятность потери хотя бы части хранимой информации и количество ежегодно приобретаемых дисков для замены отказавших в процессе хранения из-за деградации. В основе математических моделей, позволяющих рассчитать значения этих параметров, лежит знание вероятности выхода из строя одного оптического диска с записью. Однако на практике значение этого параметра, как правило, достоверно неизвестно. Целью работы является получение оценки вероятности выхода из строя одного оптического диска с записью на базе натурального эксперимента по хранению электронной информации на оптических дисках типа BD-R в течение нескольких лет. *Материалы и методы.* Для получения оценки искомого параметра в 2018 г. был заложен экспериментальный архив на дисках типа BD-R. При закладке была выполнена оценка времени считывания информации с каждого диска. Для контроля целостности информации были свернуты контрольные суммы MD5. Оценка состояния дисков в архиве выполняется ежегодно путем контроля целостности записанных файлов по суммам MD5 и контроля состояния дисков путем замера времени считывания информации. Для обработки результатов используются стандартные методы интервального оценивания, применяемые в статистике. *Результаты.* Обнаружено, что у части дисков в процессе хранения деградирует поверхность, что выражается в сильном снижении скорости считывания информации, но сама информация при этом воспроизводится без потерь. Такая деградация может приводить к срыву плановых сроков контроля целостности информации и дестабилизации работы всего архива. Поэтому такие диски должны подлежать замене на новые наряду с дисками, на которых обнаружена потеря информации. *Выводы.* Результаты исследования показывают, что для моделей долговременных электронных архивов необходимо использовать два значения вероятностей: вероятность потери информации на оптическом диске и ве-

роятность деградации оптического диска без потери информации. Получены оценки значений обоих параметров по результатам натурального эксперимента.

**Ключевые слова:** долговременный электронный архив на оптических дисках, диски типа BD-R, однократно записываемые оптические диски, вероятность потери информации, вероятность деградации оптического диска с записью

**Для цитирования:** Чернышов А. В. Некоторые результаты контроля целостности оптических дисков с записью по результатам четырех лет хранения в архиве // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2023. № 2. С. 5–14. doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-1

## Some results of the integrity control of optical discs with recording based on the results of four years of storage in the archive

A.V. Chernyshov

Mytischki Branch of Bauman Moscow State Technical University,  
Mytischki, Moscow region, Russia  
sch-ru@yandex.ru

**Abstract.** *Background.* When designing electronic archives of long-term storage based on write once optical disks, it is necessary to take into account many parameters, the most significant among which are: the probability of losing at least part of the stored information and the number of disks purchased annually to replace those that failed during storage due to degradation. Mathematical models that allow calculating the values of these parameters are based on the knowledge of the probability of failure of one optical disk with a recording. However, in practice, the value of this parameter is usually not reliably known. The aim of the work is to obtain an estimate of the probability of failure of one optical disk with a recording based on a full-scale experiment on storing electronic information on BD-R optical disks for several years. *Materials and methods.* To obtain an estimate of the desired parameter in 2018, an experimental archive was laid on BD-R type disks. In the beginning of the experiment, the time of reading information from each disk was estimated. MD5 checksums were rolled up to control the integrity of the information. Assessment of the state of disks in the archive is performed annually by monitoring the integrity of recorded files by MD5 amounts and monitoring the state of disks by measuring the time of reading information. Standard interval estimation methods used in statistics are used to process the results. *Results.* It was found that the surface of some disks degrades during storage, which is expressed in a strong decrease in the speed of reading information, but the information itself is reproduced without loss. Such degradation can lead to disruption of planned deadlines for monitoring the integrity of information and destabilization of the entire archive. Therefore, such disks should be replaced with new ones along with disks on which information loss is detected. *Conclusions.* The results of the study show that it is necessary to use two probability values for models of long-term electronic archives: the probability of loss of information on the optical disk and the probability of degradation of the optical disk without loss of information. Estimates of the values of both parameters are obtained based on the results of a full-scale experiment.

**Keywords:** long-term electronic archive on optical disks, BD-R type disks, once-recorded (WORM) optical disks, the probability of information loss, the probability of degradation of an optical disk with recording

**For citation:** Chernyshov A.V. Some results of the integrity control of optical discs with recording based on the results of four years of storage in the archive. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki = University proceedings. Volga region. Engineering sciences.* 2023;(2):5–14. (In Russ.). doi: 10.21685/2072-3059-2023-2-1

## Введение

Электронные архивы все больше становятся неотъемлемой частью нашей жизни. Из-за удобства доступа к информации, представленной в электронной форме, и особенно из-за возможности быстрого поиска ценность информации, представленной в такой форме, возрастает с каждым днем. Причем это относится к информации, как изначально представленной в «материальной» форме и лишь затем переведенной в электронную, так и изначально представленной только в электронной форме. И если потеря электронной информации, имеющей «материальный» первоисточник, способна привести лишь к усложнению доступа к ней, то потеря электронной информации, изначально существовавшей только в электронном виде, способна стать действительно невозможной потерей.

В связи с этим важнейшее значение приобретают мероприятия по надежному сохранению имеющейся электронной информации. В зависимости от изменчивости информации сохранение может быть организовано одним из двух способов:

1. Для часто меняющейся информации (текущие рабочие материалы) применяют регулярное резервирование. Методам резервирования и восстановления электронной информации посвящено большое количество публикаций (например, [1–7]), поэтому при необходимости реализовать эти процессы на практике обычно проблем не возникает.

2. Для неизменяющейся информации (отправленной на архивное хранение) должны создаваться долговременные электронные архивы, призванные обеспечить, во-первых, неизменность этой информации в течение длительного времени (десятки лет и более), а во-вторых, возможность доступа к этой информации при необходимости.

Проблема проектирования и дальнейшей эксплуатации электронных архивов длительного хранения в научной литературе исследована довольно плохо. Опубликовано весьма небольшое количество работ [8–16], но и в них, как правило, приведены умозрительные рекомендации, вытекающие из практического опыта системных администраторов и здравого смысла, практически не подкрепленные моделями, которые позволили бы выполнить хоть какие-нибудь сравнительные расчеты. Одной из таких рекомендаций на сегодня является требование ГОСТ Р 54989–2012 «Обеспечение долговременной сохранности электронных документов» о построении долговременных электронных архивов только на базе носителей типа WORM (т.е. однократно записываемых и неперезаписываемых в дальнейшем). На данный момент это только оптические диски однократной записи типа CD-R, DVD±R, BD-R. Причем, если не брать во внимание специализированные диски, выпускаемые специально под конкретные модели роботизированных библиотек (типа [17–21]), то наиболее выгодными с точки зрения стоимости сохранения в архиве единицы информации на рынке являются диски типа BD-R [22].

Проектирование долговременных электронных архивов предполагает обоснование нескольких параметров их функционирования, среди которых наиболее важными являются: вероятность потери в процессе хранения хотя бы части информации из-за выхода из строя некоторых дисков, а также количество ежегодно приобретаемых новых дисков на замену выходящим из строя. При этом предполагается, что целостность информации на всех дисках в архиве проверяется один раз в год.

Для выполнения проектных расчетов необходимо знать значение вероятности выхода из строя одного оптического диска с записью при хранении в течение года. Но достоверно эта величина неизвестна. (Обычно сообщаемое производителями «время службы диска» никак не позволяет получить искомую величину.) Для дисков типа CD-R имеется немного работ, позволяющих как-то оценить эту величину по реальным данным [23–25], для дисков типов DVD±R и BD-R такой информации практически нет. Однако для проектирования долговременных электронных архивов на базе дисков BD-R необходимо знание хотя бы оценочного значения вероятности выхода из строя диска BD-R с записью при хранении.

## **1. Материал и методика**

### ***Постановка эксперимента***

С целью исследования вопроса в 2018 г. был заложен реальный экспериментальный архив на дисках BD-R. Информация записывалась на одиночные диски, создавалось 3 запасных копии каждого фрагмента информации (каждые 3 диска несли одну и ту же информацию). В архиве использованы диски производителей Verbatim и TDK (последние с двух разных заводов). Заполняемость каждого диска приближена к 100 %.

Исходя из прогнозируемого значения исследуемого параметра и нескольких других соображений [26] размер архива был выбран в 189 дисков.

Контроль целостности дисков изначально предполагался по двум факторам: контрольным суммам MD5 и времени считывания информации с диска. Поэтому уже при закладке архива было зафиксировано время считывания информации с каждого диска.

### ***Особенности хода эксперимента***

Контроль целостности дисков выполняется ежегодно в плановом порядке. Так, он был выполнен в 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. Поскольку речь идет об экспериментальном архиве, замена отказавших дисков (дисков с потерями информации) на новые не предусмотрена.

В процессе ежегодного контроля целостности информации выявлены следующие особенности:

- Дисков с явными ошибками чтения информации не обнаружено.
- Для ряда дисков при этом наблюдается существенное снижение скорости считывания информации (деградация).
- Некоторые из этих дисков демонстрируют переход в нестабильное состояние – скорость считывания информации при контроле из года в год то снижается, то снова восстанавливается.

### ***Методика оценки результатов***

Из теории статистического оценивания известно, что никакой эксперимент не позволяет получить точное значение исследуемого параметра. В зависимости от объема выборки  $n$  можно получить только оценку значения параметра, которая с вероятностью  $P$  будет отклоняться от неизвестного истинного значения не более, чем на какую-то заданную величину, обычно обозначаемую через  $\epsilon$ .

Обозначим точное (неизвестное) значение вероятности выхода из строя оптического диска через  $q$ , а получаемую в результате эксперимента оценку этого параметра через  $q^*$ . Будем оценивать значение  $q$  с вероятностью, не хуже 0,95, т.е.

$$P\left(\left|q^* - q\right| < \varepsilon\right) > 0,95.$$

Величину  $\varepsilon$  позволяет оценить формула Лапласа (значения функции  $\Phi(\cdot)$  табулированы):

$$P\left(\left|q^* - q\right| < \varepsilon\right) \approx 2\Phi\left(\frac{\varepsilon\sqrt{(n)}}{\sqrt{(q^*(1-q^*))}}\right). \quad (1)$$

В результате сможем утверждать, что с вероятностью не меньше 0,95  $q < q^* + \varepsilon$ .

## 2. Результаты

В результате ежегодного тестирования отказавших дисков (с потерей информации) не обнаружено, поэтому можно утверждать, что  $q^* < 1/189$ . Округлив до второго знака после запятой, получим  $q^* < 0,01$ . Оценка по формуле (1) показывает, что для  $P > 0,95$  необходимо выбрать  $\varepsilon = 0,02$ , и тогда с вероятностью 0,99 искомое значение  $q$  не превысит 0,03.

Оценка вероятности встретить при тестировании деградировавший диск за несколько лет эксперимента приведена в табл. 1.

Таблица 1

Оценка вероятности встретить деградирующий диск в процессе планового контроля

Параметр	Год			
	2019	2020	2021	2022
$n$ , шт.	176	189	189	189
Деградаций, шт.	20	38	42	30
$q^*$	0,11	0,20	0,22	0,16
$\varepsilon$	0,05	0,06	0,06	0,06
$P$	0,96	0,96	0,95	0,98
$q^* + \varepsilon$	0,16	0,26	0,28	0,22
$q^* - \varepsilon$	0,06	0,14	0,16	0,10

Как видно из табл. 1, уже после одного года хранения вероятность встретить в архиве диск с низкой скоростью чтения (строка  $q^* + \varepsilon$ ) может достигать 0,16. (И с той же вероятностью  $P = 0,96$  она будет не ниже 0,06.) Если не предпринимать никаких действий, то в дальнейшем она может существенно возрасти. (Из-за наличия в наборе дисков некоторого количества с нестабильным поведением эта вероятность может достигать от 0,22 до 0,28 и маловероятно, что она опустится ниже 0,10.)

### 3. Обсуждение

С практической точки зрения деградация дисков, даже при сохранении их способности воспроизвести всю записанную информацию без потерь, создает ряд проблем для безопасности архивной информации в будущем.

Во-первых, поскольку диск уже начал деградировать (т.е. имеет внутренние производственные дефекты, которые привели к тому, что на его поверхности появились дефектные участки, требующие более медленного воспроизведения), можно обоснованно предполагать, что со временем процесс деградации будет прогрессировать, это в конце концов приведет к потере информации с большей вероятностью, чем для диска, который не деградирует.

Во-вторых, замедление воспроизведения информации с такого диска существенно (в несколько раз) увеличивает время, необходимое для планового контроля целостности информации на диске. В масштабах всего архива присутствие деградирующих дисков приведет к существенному превышению запланированного времени на ежегодный контроль целостности информации в архиве. А поскольку максимальный достижимый объем архива напрямую зависит от пропускной способности аппаратуры (и в первую очередь от времени считывания информации с дисков при контроле целостности), незапланированное увеличение времени на контроль целостности деградировавших дисков приведет либо к невозможности достижения плановой емкости архива, либо к невозможности полноценного контроля целостности информации в архиве. Второе чревато увеличением вероятности потери информации.

Нестабильность скорости воспроизведения информации с диска может говорить о некачественной поверхности конкретного диска (например, недостаточной ширине записанной дорожки), что, хотя и не приводит к деградации поверхности, но в общем случае также способно приводить к превышению планового времени контроля целостности информации в архиве.

В данном случае рассматривается только технологическое время, выделяемое на техническое обслуживание дисков в архиве, не связанное с оказанием информационных услуг пользователям. Однако надо признать, что рассмотренные выше проблемы со снижением скорости воспроизведения информации очевидно приведут и к снижению качества обслуживания пользователей.

В связи с этим необходимо признать, что существенное снижение скорости воспроизведения информации с оптического диска является основанием для замены этого диска в архиве на новый даже в том случае, если информация с диска считалась вся без потерь.

В результате получаем важный вывод. При проектировании долговременных электронных архивов на оптических дисках расчеты вероятности потери информации в архиве и необходимого ежегодно количества дисков для поддержания целостности архива должны выполняться с разными значениями вероятностей отказа диска:

- для определения количества запасных копий (зависит от вероятности потери хотя бы части информации) необходимо знание вероятности потери информации на одном диске;

- для определения необходимого количества ежегодно новых дисков для поддержания целостности архива нужно знание вероятности деградации диска с записью в процессе хранения.

Для дисков типа BD-R по результатам проведенного эксперимента значение первого параметра с вероятностью 0,99 не превышает 0,03, а второго – с вероятностью 0,96 может достигать 0,16 и не опустится ниже 0,06.

### Заключение

Основываясь на полученных результатах натурного эксперимента, можно утверждать, что при проектировании электронных архивов длительного хранения информации в расчетах необходимо опираться не на один параметр вероятности выхода из строя одного оптического диска, а на два:

– вероятность потери информации на оптическом диске. Этот параметр влияет на количество запасных копий и в конечном итоге на вероятность потери хотя бы части информации в архиве при длительном хранении;

– вероятность деградации оптического диска, которая выражается в сильном снижении скорости считывания информации. Этот параметр оказывает значительное влияние на количество ежегодно необходимых новых дисков для поддержания архива в работоспособном состоянии.

Для обоих параметров выполнены оценки, основанные на результатах натурного эксперимента.

### Список литературы

1. Hard disk drive reliability and MTBF / AFR. URL: [http://knowledge.seagate.com/articles/en\\_US/FAQ/174791en?language=en\\_US](http://knowledge.seagate.com/articles/en_US/FAQ/174791en?language=en_US) (дата обращения: 16.10.2022).
2. Бережной А. Не теряя управления // Системный администратор. 2014. № 5 (138). С. 22–26.
3. Бережной А. Резервное копирование для больших и маленьких // Системный администратор. 2014. № 3 (136). С. 22–25.
4. Бережной А. Почему нельзя просто скопировать файлы. О резервном копировании, а также об инкрементальном парадоксе // Системный администратор. 2014. № 7-8 (140-141). С. 36–41.
5. Архитектура Data Domain // Открытые системы. 2014. № 2. С. 16.
6. Поляков А. Хранение без потерь // Открытые системы. 2015. № 1. С. 12–13.
7. Починок Н. Комплекс для резервного копирования // Открытые системы. 2014. № 6. С. 8–10.
8. Юмашева Ю. Ю. Методические рекомендации по электронному копированию архивных документов и управлению полученным информационным массивом. М. : ВНИИДАД, 2012. 125 с.
9. Рекомендации по комплектованию, учету и организации хранения электронных архивных документов в государственных и муниципальных архивах. М. : Федеральное архивное агентство. ВНИИДАД, 2013. 49 с.
10. Zalaev G. Z., Kalenov N. E., Tsvetkova V. A. Some Issues of Long-Term Storage of Electronic Documents // Scientific and Technical Information Processing. 2016. Vol. 43, № 4. P. 268–274. doi: 10.3103/S0147688216040110
11. Corrado E. M., Moulaison H. L. Digital Preservation for Libraries, Archives, and Museums. Rowman & Littlefield Publishers, 2014. 294 p.
12. Акимова Г. П., Пашкин М. А., Пашкина Е. В., Соловьев А. В. Электронные архивы: возможные решения проблем долгосрочного хранения данных // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2013. Т. 63, № 4. С. 39–49.
13. Bradley K. Risks Associated With the Use of Recordable CDs and DVDs as Reliable Storage Media in Archival Collections: Strategies and Alternatives. UNESCO. Paris, 2006. 31 p.

14. Корепанов И. Как сохранить архив на десятилетия? // Журнал сетевых решений/LAN. 2008. № 03. URL: <http://www.osp.ru/lan/2008/03/4899898/> (дата обращения: 16.10.2022).
15. Haus G., Polizzi C., Visconti A. Preserving cultural heritage: A new approach to increase the life expectancy of optical discs // Journal of Cultural Heritage. January–February 2018. Vol. 29. P. 67–74. doi: 10.1016/j.culher.2017.08.004
16. Лобанов А. К. Методы построения систем хранения данных // Jet Info Online. 2003. № 7. URL: <http://citforum.ru/hardware/data/db/> (дата обращения: 16.10.2022).
17. Data Archiver LB-DH8 series. URL: <https://panasonic.net/cns/archiver/lb-dh8/index.html> (дата обращения: 16.10.2022).
18. Optical Jukeboxes and Libraries: KINTRONIX: IP Security Solutions. URL: <https://kintronics.com/solutions/optical-jukeboxes-and-libraries/> (дата обращения: 16.10.2022).
19. New Sony Everspan Library System Delivers Reliable Optical Disc Archiving For Data Centers. URL: <http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=45763> (дата обращения: 16.10.2022).
20. Panasonic LB-DM9 series Data Archiver. URL: <https://panasonic.net/cns/archiver/lb-dm9/index.html> (дата обращения: 16.10.2022).
21. ODS-L10 Optical Disc Archive 10-Slot library. URL: [https://pro.sony/en\\_EC/products/archivingsmalllibrary/ods-l10](https://pro.sony/en_EC/products/archivingsmalllibrary/ods-l10) (дата обращения: 16.10.2022).
22. Чернышов А. В. К вопросу о применении оптических дисков для создания долговременных электронных архивных хранилищ информации небольших организаций // Информационные технологии. 2016. Т. 22, № 8. С. 635–640.
23. Zheng J., Slattery O. T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. 2007. 32 p. URL: [https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST\\_LC\\_OpticalDiscLongevity.pdf](https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf) (дата обращения: 16.10.2022).
24. Рекомендации по обеспечению сохранности информации, записанной на оптических дисках (Тестирование выборочного массива документов федеральных архивов) / М. И. Пилипчук, А. Н. Балакирев, Л. В. Дмитриева, Г. З. Залаев. М. : РГАНТД, 2011. 52 с.
25. Устинов В. Хранение данных на CD- и DVD-дисках: на наш век хватит? // BROADCASTING: Телевидение и радиовещание. 2006. № 4. URL: [http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie\\_dannyh\\_na\\_CD\\_DVD\\_diskah](http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah) (дата обращения: 16.10.2022).
26. Чернышов А. В. Постановка натурального эксперимента по определению вероятности выхода из строя дисков типа BD-R с записью в процессе хранения // Системный администратор. 2018. № 5 (186). С. 76–79.

## References

1. *Hard disk drive reliability and MTBF / AFR*. Available at: [http://knowledge.seagate.com/articles/en\\_US/FAQ/174791en?language=en\\_US](http://knowledge.seagate.com/articles/en_US/FAQ/174791en?language=en_US) (accessed 16.10.2022).
2. Berezhnoy A. Without losing control. *Sistemnyy administrator = System administrator*. 2014;(5):22–26. (In Russ.)
3. Berezhnoy A. Backup for big and small. *Sistemnyy administrator = System administrator*. 2014;(3):22–25. (In Russ.)
4. Berezhnoy A. Why can't you just copy the files. About backups, and also about the incremental paradox. *Sistemnyy administrator = System administrator*. 2014;(7-8):36–41. (In Russ.)
5. Architecture Data Domain. *Otkrytye sistemy = Open systems*. 2014;(2):16. (In Russ.)
6. Polyakov A. Lossless storage. *Otkrytye sistemy = Open systems*. 2015;(1):12–13. (In Russ.)
7. Pochinok N. Backup Complex. *Otkrytye sistemy = Open systems*. 2014;(6):8–10. (In Russ.)

8. Yumasheva Yu.Yu. *Metodicheskie rekomendatsii po elektronnomu kopirovaniyu arkhivnykh dokumentov i upravleniyu poluchennym informatsionnym massivom = Guidelines for electronic copying of archival documents and management of the received information array*. Moscow: VNIIDAD, 2012:125. (In Russ.)
9. *Rekomendatsii po komplektovaniyu, uchetu i organizatsii khraneniya elektronnykh arkhivnykh dokumentov v gosudarstvennykh i munitsipal'nykh arkhivakh = Recommendations for the acquisition, accounting and organization of storage of electronic archival documents in state and municipal archives*. Moscow: Federal'noe arkhivnoe agentstvo. VNIIDAD, 2013:49. (In Russ.)
10. Zalaev G.Z., Kalenov N.E., Tsvetkova V.A. Some Issues of Long-Term Storage of Electronic Documents. *Scientific and Technical Information Processing*. 2016;43(4):268–274. doi: 10.3103/S0147688216040110
11. Corrado E.M., Moulaison H.L. *Digital Preservation for Libraries, Archives, and Museums*. Rowman & Littlefield Publishers, 2014:294.
12. Akimova G.P., Pashkin M.A., Pashkina E.V., Solov'ev A.V. Electronic archives: possible solutions to the problems of long-term data storage. *Trudy Instituta sistemnogo analiza Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of the Institute of System Analysis of the Russian Academy of Sciences*. 2013;63(4):39–49. (In Russ.)
13. Bradley K. *Risks Associated With the Use of Recordable CDs and DVDs as Reliable Storage Media in Archival Collections: Strategies and Alternatives*. UNESCO. Paris, 2006:31.
14. Korepanov I. How to save an archive for decades? *Zhurnal setevykh resheniy/LAN = Network Solutions Journal/LAN*. 2008;(03). (In Russ.). Available at: <http://www.osp.ru/lan/2008/03/4899898/> (accessed 16.10.2022).
15. Haus G., Polizzi C., Visconti A. Preserving cultural heritage: A new approach to increase the life expectancy of optical discs. *Journal of Cultural Heritage*. January–February 2018;29:67–74. doi: 10.1016/j.culher.2017.08.004
16. Lobanov A.K. Methods for building data storage systems. *Jet Info Online*. 2003;(7). (In Russ.). Available at: <http://citforum.ru/hardware/data/db/> (accessed 16.10.2022).
17. *Data Archiver LB-DH8 series*. Available at: <https://panasonic.net/cns/archiver/lb-dh8/index.html> (accessed 16.10.2022).
18. *Optical Jukeboxes and Libraries: KINTRONIX: IP Security Solutions*. Available at: <https://kintronics.com/solutions/optical-jukeboxes-and-libraries/> (accessed 16.10.2022).
19. *New Sony Everspan Library System Delivers Reliable Optical Disc Archiving For Data Centers*. Available at: <http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=45763> (accessed 16.10.2022).
20. *Panasonic LB-DM9 series Data Archiver*. Available at: <https://panasonic.net/cns/archiver/lb-dm9/index.html> (accessed 16.10.2022).
21. *ODS-L10 Optical Disc Archive 10-Slot library*. Available at: [https://pro.sony/en\\_EC/products/archivingsmalllibrary/ods-l10](https://pro.sony/en_EC/products/archivingsmalllibrary/ods-l10) (accessed 16.10.2022).
22. Chernyshov A.V. To the question of the use of optical discs for the creation of long-term electronic archival storage of information for small organizations. *Informatsionnye tekhnologii = Information Technology*. 2016;22(8):635–640. (In Russ.)
23. Zheng J., Slattery O.T. *NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report*. 2007:32. Available at: [https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST\\_LC\\_OpticalDiscLongevity.pdf](https://www.loc.gov/preservation/resources/rt/NIST_LC_OpticalDiscLongevity.pdf) (accessed 16.10.2022).
24. Pilipchuk M.I., Balakirev A.N., Dmitrieva L.V., Zalaev G.Z. *Rekomendatsii po obespecheniyu sokhrannosti informatsii, zapisannoy na opticheskikh diskakh (Testirovanie vyborochnogo massiva dokumentov federal'nykh arkhivov) = Recommendations on ensuring the safety of information recorded on optical disks (Testing of a sample array of documents of federal archives)*. Moscow: RGANTD, 2011:52. (In Russ.)
25. Ustinov V. Storing data on CD and DVD disks: enough for our age? *BROADCASTING: Televidenie i radioveshchanie = BROADCASTING: Television and radio broadcasting*.

2006;(4). (In Russ.). Available at: [http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie\\_dannyh\\_na\\_CD\\_DVD\\_diskah](http://lib.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah) (accessed 16.10.2022).

26. Chernyshov A.V. Statement of a full-scale experiment to determine the probability of failure of BD-R disks with recording during storage. *Sistemnyy administrator = System administrator*. 2018;(5):76–79. (In Russ.)

#### **Информация об авторах / Information about the authors**

***Александр Викторович Чернышов***

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры прикладной  
математики, информатики  
и вычислительной техники,  
Мытищинский филиал  
Московского государственного  
технического университета  
имени Н. Э. Баумана (Россия,  
Московская область, Мытищи-5,  
ул. 1-я Институтская, 1)

E-mail: sch-ru@yandex.ru

***Aleksandr V. Chernyshov***

Candidate of engineering sciences,  
associate professor, associate professor  
of the sub-department of applied  
mathematics, informatics and computer  
engineering, Mytishi Branch of Bauman  
Moscow State Technical University  
(1 Pervaya Institutskaya street,  
Mytishi-5, Moscow region, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.**

**Поступила в редакцию / Received 30.11.2022**

**Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.04.2023**

**Принята к публикации / Accepted 10.05.2023**