

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВЫХОДА ИЗ СТРОЯ ОДНОКРАТНО ЗАПИСЫВАЕМОГО ОПТИЧЕСКОГО ДИСКА С ЗАПИСЬЮ В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ В ДОЛГОВРЕМЕННОМ АРХИВЕ

А.В. Чернышов

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
sch-ru@yandex.ru

Рассмотрена задача точечной оценки значения параметра вероятности выхода из строя однократно записываемого оптического диска с записью при длительном архивном хранении по результатам натурных экспериментов. Выполнены точечные оценки значения вероятности выхода из строя для трех типов дисков — CD-R, DVD+R, BD-R частично по опубликованным ранее результатам натурных экспериментов и по полученным результатам экспериментов, проведенных автором. Показано, что по имеющимся данным нет возможности получить оценку искомого параметра меньше 10^{-3} , а фактически по результатам разных рассмотренных экспериментов значение параметра попадает в диапазон от 0,01 до 0,2.

Ключевые слова: долговременные электронные архивы информации, надежность хранения информации, оптические диски однократной записи, оценка вероятности потери информации, натурные эксперименты

Ссылка для цитирования: Чернышов А.В. Определение значения вероятности выхода из строя однократно записываемого оптического диска с записью в процессе хранения в долговременном архиве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 4. С. 82–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-82-87

Согласно действующему стандарту [1], долговременные электронные архивы следует создавать на однократно записываемых носителях (типа WORM), к которым в настоящее время относятся только оптические диски с однократной записью, такие, как CD-R, DVD+R, BD-R. В связи с повсеместной информатизацией жизни, создание локальных долговременных электронных архивов стало важной необходимостью для многих организаций [2, 3].

С течением времени носители информации выходят из строя, и оптические диски не исключение. Так, в работе [4] упоминается эксперимент, который показал, что при хранении оптических дисков с записью в течение 2 лет примерно каждый десятый диск теряет читабельность.

При проектировании электронных архивов длительного хранения информации должны быть приняты меры к ее надежному сохранению на носителях, которые с определенной вероятностью могут выйти из строя. Однако применительно к однократно записываемым оптическим дискам невозможно применить методы испытаний, обычно используемые в технике для определения вероятности выхода из строя конкретных образцов. Например, в отличие от жестких дисков, запись на которые может быть выполнена многократно, оптический диск однократной записи может быть записан только единожды и, следовательно, это должно быть сделано только у потребителя — изготовитель не может провести такой тест.

Некоторые изготовители проводят выборочные («разрушающие») тесты своих оптических

дисков из каждой партии до передачи потребителям. Эти тесты, во-первых, как и следовало ожидать, показывают лишь усредненную картину, а не индивидуальные особенности каждого диска из партии. Во-вторых, такие тесты, как правило, проводятся по специальной ускоренной методике [5], результатом которой является лишь оценка «времени службы», что не может свидетельствовать о вероятности выхода из строя (потере информации) конкретного диска.

Известные методические рекомендации по созданию долговременных электронных архивов не содержат предложений по конкретным расчетным моделям для определения структуры создаваемого архива, а ограничиваются общим замечанием о необходимости наличия минимум трех дисков с каждым фрагментом информации, причем от разных производителей [6–8].

В действительности не составляет большого труда построить теоретическую модель вероятности потери какой-то части информации в архиве [9–12], но при выполнении практических расчетов главной проблемой остается выбор значения параметра q — вероятности выхода из строя отдельно взятого оптического диска.

Цель работы

Целью настоящей работы является обоснование выбора модельного значения параметра q для проведения расчетов по надежности сохранения информации на оптических дисках однократной записи для наиболее распространенных в настоящее время типов дисков — CD-R, DVD+R, BD-R.

Материалы и методы

Найдем точечную оценку значения параметра q . Теоретически с течением времени его значение должно изменяться, что подчеркивается, например, в работе [6]. Однако на практике какие-либо реальные данные, подтверждающие этот тезис, найти невозможно. Поэтому нельзя оценить вид функции $q(t)$, тем более значение ее параметров. Такое положение является следствием самой природы однократно записанных дисков — с течением времени диски деградируют по некоторому функциональному закону, но характерно только для конкретной партии дисков. Новые партии дисков по характеру деградации будут подчиняться некоторому иному закону, неизвестному до того, как на дисках появятся записи и они подвергнутся длительному хранению.

Проблема состоит еще и в том, что оптические диски, сохраняемые без записи, также достаточно быстро утрачивают свои технические характеристики. Поэтому их нельзя запасать впрок, и для каждого нового блока записываемой информации следует приобретать новые, недавно выпущенные диски.

Поскольку диски CD-R, DVD+-R, BD-R предназначены для разных технологий записи, оценим значение параметра q отдельно для каждого из указанных типов дисков. При этом будем исходить из данных, полученных в результате реального хранения дисков с записью соответствующего типа в течение нескольких лет.

Результаты и обсуждение

Диски типа CD-R. Для дисков типа CD-R больше всего опубликовано данных по экспериментам с реальным длительным хранением записанных дисков. Правда, практически во всех известных экспериментах исполнители не сохраняли информацию о первоначальном состоянии дисков (например, о скорости чтения данных или количестве ошибок при чтении). Поэтому в момент тестирования дисков не было возможности оценить степень их деградации. Все описанные тесты выполнялись по принципу «информация считалась/информация не считалась» и только в последнем случае («информация не считалась») фиксировался отказ.

Опираясь на данные таких публикаций, можно сделать вывод только о минимальном значении q^* , т. е. точечной оценке истинного значения параметра q .

В работе [4], как было указано выше, в записанной партии дисков CD-R через 2 года отказал примерно каждый десятый диск, т. е. по истечении двухлетнего срока получено $q^* = 0,1$. К сожалению, в источнике не приведены другие

условия проведения эксперимента, в том числе объем тестируемой партии дисков, поэтому нельзя сказать о доверительном интервале этой оценки, за исключением общего количества записанных дисков — 30 шт., каждый из которых от разных производителей.

Эксперимент проводился более 15 лет тому назад. Есть мнение о том, что за прошедшие годы технологии изготовления и записи дисков CD-R были существенно усовершенствованы, однако в работе [6] раскрыто узкое понимание производителями усовершенствования технологий — это удешевление из производства. Отсюда ясно, что проблема выбора дисков CD-R для архивных записей пока не решена и остается настолько острой, что даже нет рабочих рекомендаций [6] по выбору дисков для записи конкретных производителей и марок дисков (типа Gold Archive [17]). Вместо этого предлагается сделать не менее трех копий каждого диска, для чего выбрать диски с разным типом записываемой поверхности (phthalocyanine [18], azo [19]) из лучших, имеющих ныне на рынке. Определять «лучшие» следует не по стоимости (которая может быть завышена в маркетинговых целях), а по результатам специально проводимых тестов с низкоуровневым контролем количества ошибок чтения сразу после записи.

В работе [14] приводятся несколько более конкретные данные, полученные в результате проведенного тестирования 600 архивных дисков, записанных в разные годы со сроком хранения от 8 до 11 лет. Авторы утверждают [14], что выборочный детальный тест 25 дисков показал отсутствие зависимости количества ошибок чтения дисков (без потери воспроизводимости информации) от времени хранения.

Тем не менее надо признать, что авторы не обладают информацией о первоначальном количестве ошибок чтения каждого записанного диска (такая информация не зафиксирована при осуществлении записи). К тому же 25 дисков — это выборка, не позволяющая получить статистически значимые результаты.

Авторы [14] провели тестирование всех 600 дисков на воспроизведение информации. В результате с девяти дисков было проблематично извлечь информацию, т. е. $q^* = 0,015$.

Дадим статистическую оценку полученным результатам по известной формуле Лапласа [20]:

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

Здесь при $\varepsilon = 0,015$ получаем $P = 0,997$, т. е. с близкой к единице вероятностью $q < 0,03$.

В данном случае удалось оценить истинное значение q — оно не превышает 0,03 с вероятностью 0,997 (а также не превышает 0,035 с вероятностью 0,9999).

Еще один эксперимент описан в работе [15], в которой приведена информация о тестировании нескольких групп дисков.

В первой группе из 70 проверенных дисков (все диски к моменту тестирования имели срок хранения 5 лет) четыре диска получили оценку «очень плохо», т. е. фактически находились в состоянии отказа.

Во второй группе из 368 дисков (к моменту тестирования диски имели сроки хранения от одного года до 11 лет) отказавших не оказалось.

В третьей группе из 51 диска (диски имели сроки хранения от 9 до 12 лет) отказавших также не было.

Оценим значение параметра q для каждой группы с вероятностью P не ниже 0,9.

Таким образом, для первой группы $q^* = 4 / 70 = 0,057$, что при $\varepsilon = 0,057$ позволяет для $P = 0,96$ утверждать: $q < 0,114$ (для $q < 0,1$ будем иметь $\varepsilon = 0,043$ и $P = 0,88$, что меньше желательной вероятности; для $P = 0,9$ — $\varepsilon = 0,046$ и $q < 0,103$);

для второй группы $q^* < 1 / 368 = 0,0027$, что для $P = 0,9$ дает $\varepsilon = 0,0045$ и $q < 0,0072$;

для третьей группы $q^* < 1 / 51 \approx 0,02$, что для $P = 0,9$ дает $\varepsilon = 0,032$ и $q < 0,052$.

Таким образом, в целях практических расчетов можно рекомендовать для архивов на базе дисков CD-R следующие значения q :

«оптимистический» сценарий — 0,01;

«пессимистический» сценарий — 0,1;

«наихудший» сценарий — 0,12.

Диски типа DVD-R. Практически нет публикаций, в которых были бы приведены данные о результатах реального хранения дисков DVD-R с записью. Только в единственной найденной работе [15] приведены данные о тестировании 26 дисков DVD-R, из которых 11 получили оценку «очень плохо». Диски хранились от 1 года до 6 лет. Отказы были зафиксированы в группах дисков с возрастом от 4 до 6 лет, причем наибольшее количество отказавших дисков имело срок хранения 5 лет. К сожалению, приведенное количество дисков столь мало, что его невозможно использовать для получения статистически значимых оценок. (Можно получить $q^* = 11 / 26 \approx 0,4$; тогда для $\varepsilon = 0,1$ имеем $P = 0,70$, для $\varepsilon = 0,15$ имеем $P = 0,88$, а для $\varepsilon = 0,2$ имеем $P = 0,96$, т. е. с вероятностью, близкой к единице, q можно оценить как «не больше 0,6», что неприемлемо).

В целях получения более реальной оценки вероятности выхода из строя дисков с записью типа DVD+-R при длительном хранении автор

выполнил тестирование личного архива дисков DVD+-R, которые хранились в домашних условиях, близких к рекомендуемым стандартам [16]. Диски были приобретены несколькими партиями и от разных производителей. Срок хранения дисков составил от 8 до 9 лет. Тестирование выполнялось на простое считывание информации, поскольку в момент закладки дисков на хранение был проведен только простейший тест верификации на читабельность — не были зафиксированы ни скорость чтения, ни контрольные суммы файлов, ни другие характеристики дисков.

Всего протестировали 291 диск. Информация была считана со всех дисков, т. е. получено $q^* < 1 / 291 \approx 0,003$. Задавая $\varepsilon = 0,007$, получаем $P \approx 0,95$, т. е. на интервале 8 лет с вероятностью 95 % можно считать, что $q < 0,01$. Именно это значение ($q = 0,01$), вероятно, и должно использоваться в практических расчетах архивов.

Отметим, что в процессе записи при верификации в одной из приобретенных партий обнаружено крайне низкое качество дисков с записью. После нескольких экспериментов зафиксирован факт наличия брака в партии, поэтому диски из нее в архив не вошли. Тем не менее автор рекомендовал для подстраховки делать дополнительный, «пессимистический», расчет с $q = 0,1$.

Диски типа BD-R. Для дисков типа BD-R, по-видимому, нет опубликованных данных по отказам в процессе реального хранения в течение какого-либо длительного периода времени. В связи с этим для экспериментального обоснования значения q автор вынужден был поставить собственный эксперимент [13]. Была выполнена запись партии дисков BD-R трех производителей в количестве 189 шт. Диски разместили в хранилище с требуемыми нормальными условиями окружающей среды.

Спустя один год провели проверку считываемости информации с дисков.

В отличие от всех описанных экспериментов, где проверка считываемости дисков проверялась «по факту», в данном случае эксперимент ставился сознательно, поэтому получена информация о первоначальной скорости считывания информации с каждого записанного диска, а также контрольная сумма каждого файла (контрольная сумма — уникальное число, полученное в результате обработки содержимого файла каким-либо алгоритмом). В связи с этим, имеется возможность оценить не только целостность информации (по совпадению контрольной суммы, что значительно лучше, чем просто «читается/не читается»), но и возможные признаки деградации каждого диска, выражающиеся в значительно увеличившемся времени считывания информации.

В результате тестирования дисков установлены несчитываемость информации с двух дисков и сильное снижение скорости считывания у 11 дисков.

Таким образом, для отказавших дисков («оптимистический» вариант) получаем $q^* < 2 / 189 \approx 0,01$. Задавая $\varepsilon = 0,02$, получаем $P \approx 0,99$ (для $\varepsilon = 0,01$, получаем $P \approx 0,82$, что недостаточно, т. е. можно считать, что в течение одного года $q < 0,03$).

С учетом деградировавших дисков («пессимистический» вариант) получаем $q^* < (2 + 11) / 189 \approx 0,07$. Задавая $\varepsilon = 0,05$, получаем $P \approx 0,99$, т. е. можно считать, что в течение одного года $q < 0,12$.

Выводы

По результатам исследования можно утверждать, что при проведении расчетов проектов архивных хранилищ электронной информации в качестве наихудшей вероятности выхода из строя оптического диска можно пользоваться значением 0,12. Если есть уверенность в высоком качестве применяемых дисков, то расчеты следует проводить с вероятностью выхода из строя не ниже 0,03 для диска BD-R и 0,01 для диска DVD+-R. Применение дисков CD-R для новых хранилищ не имеет смысла вследствие их низкой емкости.

Список литературы

- [1] ГОСТ Р 54989-2012 / ISO TR 18492:2005 Обеспечение долговременной сохранности электронных документов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200096286> (дата обращения: 15.11.2018)
- [2] Робот-библиотекарь поселился в новом кампусе СПбГУ «Михайловская дача». URL: <http://spbu.ru/smi/o-nas-pishut/24726-robot-bibliotekar-poselilsya-v-novom-kampuse-spbgu-mikhajlovskaya-dacha.html> (дата обращения: 13.11.2015).
- [3] Российские организации начинают строить электронные архивы на оптических дисках // Ассоциация электронных торговых площадок. URL: <http://www.aetrp.ru/market-news/item/400867>. (дата обращения 13.11.2015).
- [4] Устинов В. Хранение данных на CD- и DVD-дисках: на наш век хватит? // BROADCASTING: Телевидение и радиовещание, 2006. № 4. URL: http://www.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah (дата обращения: 10.12.2018).
- [5] ISO/IEC 10995:2011(E) Information technology – Digitally recorded media for information interchange and storage – Test method for the estimation of the archival lifetime of optical media. 28 pp. URL: <https://www.iso.org/standard/56910.html> (дата обращения: 10.12.2018)
- [6] Bradley K. Risks Associated With the Use of Recordable CDs and DVDs as Reliable Storage Media in Archival Collections: Strategies and Alternatives. Paris: UNESCO, 2006. 31 p.

Сведения об авторе

Чернышов Александр Викторович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sch-ru@yandex.ru

Поступила в редакцию 19.04.2019.

Принята к публикации 15.07.2019.

- [7] Юмашева Ю.Ю. Методические рекомендации по электронному копированию архивных документов и управлению полученным информационным массивом. М.: Росархив. ВНИИДАД, 2012, 125 с.
- [8] Рекомендации по комплектованию, учету и организации хранения электронных архивных документов в государственных и муниципальных архивах. М.: Росархив. ВНИИДАД, 2013, 49 с.
- [9] 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.
- [10] Чернышов А.В. Модель надежности хранения информации на современных библиотеках оптических дисков, объединенных в массивы RAID-6 // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2017. № 3. С. 65–75. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-3-65-75
- [11] Чернышов А.В. Метод повышения надежности хранения информации в долговременных электронных хранилищах на оптических дисках, организованных в массивы RAID-6, за счет смешивания дисков запасных копий // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение, 2017. № 4. С. 88–97. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-88-97
- [12] Чернышов А.В. Исследование свойств долговременных электронных архивных хранилищ информации на оптических дисках, организованных в структуры RAID-5 // Информационные технологии, 2018. Т. 24. № 9. С. 586–593. DOI: 10.17587/it.24.586-593
- [13] Чернышов А.В. Постановка натурного эксперимента по определению вероятности выхода из строя дисков типа BD-R с записью в процессе хранения // Системный администратор, 2018. № 5 (186). С. 76–79.
- [14] van Ooijen P.M.A., Viddeleer A.R., Meijer F., Oudkerk M. Accessibility of Data Backup on CD-R after 8 to 11 years // J Digit Imaging, 2010, no. 23, pp. 95. DOI: 10.1007/s10278-008-9161-9.
- [15] Пилипчук М.И., Балакирев А.Н., Дмитриева Л.В., Залаев Г.З. Рекомендации по обеспечению сохранности информации, записанной на оптических дисках (Тестирование выборочного массива документов федеральных архивов). М.: РГАНТД, 2011, 52 с.
- [16] Чернышов А.В. Оценка вероятности выхода из строя оптического диска DVD-R с записью по результатам натурного эксперимента // Современные технологии в задачах управления, автоматики и обработки информации: сб. тр. XXVII Междунар. науч.-техн. конф. Алушта, 14–20 сентября 2018. Тамбов: ПГТУ, 2018. С. 272.
- [17] Gold Archive DVD-R/+R. URL: <http://www.mam-a-store.com/golddvd.html> (дата обращения 03.03.2019).
- [18] CD-R носители. URL: <https://www.ixbt.com/storage/cdr.shtml> (дата обращения 03.03.2019).
- [19] Verbatim: Технологии изготовления. URL: <https://www.verbatim.ru/ru/article/core-technologies/> (дата обращения 03.03.2019).
- [20] Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.

EVALUATION OF SINGLE RECORDED OPTICAL DISC WITH RECORDING FAILURE PROBABILITY DURING STORAGE IN A LONG-TERM ARCHIVE

A.V. Chernyshov

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

sch-ru@yandex.ru

The issue of a dotted estimate of the probability failure parameter of a write-once optical disc with recording during long-term archival storage based on the results of field experiments is considered. Dotted estimates of the probability of failure for three types of discs CD-R, DVD + -R, BD-R were made partially based on previously published results of field experiments and on the results of experiments conducted by the author. It is shown that, according to the available data, it is not possible to obtain an estimate of the desired parameter less than 10^{-3} , but in fact, according to the results of the various experiments examined the parameter falls into the range from 0,01 to 0,2.

Keywords: long-term electronic archives of information, reliability of information storage, optical discs of single recording, evaluation of the probability of loss of information, natural experiments

Suggested citation: Chernyshov A.V. *Opreделение znacheniya veroyatnosti vykhoda iz stroya odnokratno zapisyvaemogo opticheskogo diska s zapis'yu v protsesse khraneniya v dolgovremennom arkhive* [Evaluation of single recorded optical disc with recording failure probability during storage in a long-term archive]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 4, pp. 82–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-4-82-87

References

- [1] *GOST R 54989–2012 / ISO TR 18492:2005 Obespechenie dolgovremennoy sokhrannosti elektronnykh dokumentov* [GOST R 54989–2012 / ISO TR 18492:2005. Ensuring long-term preservation of electronic records] Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200096286> (accessed 15.11.2018).
- [2] *Robot-bibliotekar' poselilsya v novom kampuse SPbGU «Mikhaylovskaya dacha»*. [Robot librarian settled in the new campus of SPSU «Mikhailovskaya dacha»]. Available at: <http://spbu.ru/smi/o-nas-pishut/24726-robot-bibliotekar-poselilsya-v-novom-kampuse-spbgu-mikhajlovskaya-dacha.html> (accessed 13.11.2015).
- [3] *Rossiyskie organizatsii nachinayut stroit' elektronnye arkhivy na opticheskikh diskakh*. [Russian organizations are beginning to build electronic archives on optical discs.] Association of electronic trading platforms. Available at: <http://www.aetp.ru/market-news/item/400867> (accessed 13.11.2015).
- [4] Ustinov V. *Khranenie dannykh na CD- i DVD-diskakh: na nash vek khvatit?* [Data storage on CD and DVD: on our century will suffice?]. BROADCASTING: Televidenie i radioveshhanie. [Television and broadcasting], 2006, no. 4. Available at: http://www.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah (accessed 10.12.2018).
- [5] ISO/IEC 10995:2011(E) Information technology — Digitally recorded media for information interchange and storage — Test method for the estimation of the archival lifetime of optical media. 28 pp. Available at: <https://www.iso.org/standard/56910.html> (access date: 10.12.2018).
- [6] Bradley K. *Risks Associated Collectives: Strategies and Alternatives*. Paris: UNESCO, 2006, 31 p.
- [7] Yumasheva Yu.Yu. *Metodicheskie rekomendatsii po elektronnomu kopirovaniyu arkhivnykh dokumentov i upravleniyu po-luchennym informatsionnym massivom* [Guidelines for electronic copying of archival documents and management of the resulting information array]. Moscow: Rosarhiv. VNIIDAD, 2012, 125 p.
- [8] *Rekomendatsii po komplektovaniyu, uchetu i organizatsii khraneniya elektronnykh arkhivnykh dokumentov v gosudarstvennykh i munitsipal'nykh arkhivakh* [Recommendations on acquisition, accounting and organization of storage of electronic archival documents in state and municipal archives]. Moscow: Rosarhiv. VNIIDAD, 2013, 49 p.
- [9] Chernyshov A.V. *K voprosu o primeneni opticheskikh diskov dlya sozdaniya dolgovremennykh elektronnykh arkhivnykh khranilishch informatsii nebol'shikh organizatsiy* [To the question of the optical discs application for long term digital archive storage of small organizations.] *Informacionnye tehnologii* [Information Technologies], 2016, v. 22, no. 8, pp. 635–640.
- [10] Chernyshov A.V. *Model' nadezhnosti khraneniya informatsii na sovremennykh bibliotekakh opticheskikh diskov, ob'edinennykh v massiv RAID 6* [Model of reliability of information storage on modern libraries of optical disks combined in RAID 6 arrays] *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, 2017, no. 3, pp. 65–75. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-3-65-75
- [11] Chernyshov A.V. *Metod povysheniya nadezhnosti khraneniya informatsii v dolgovremennykh elektronnykh khranilishchakh na opticheskikh diskakh, organizovannykh v massiv RAID 6, za schet smeshivaniya diskov zapasnykh kopiy* [The method of increasing the reliability of information storage in long-term electronic storages on optical disks organized in RAID 6 arrays by mixing backup disks]. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Ser. Priborostroenie*, 2017, no. 4, pp. 88–97. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-4-88-97
- [12] Chernyshov A.V. *Issledovanie svoystv dolgovremennykh elektronnykh arkhivnykh khranilishch informatsii na opticheskikh diskakh, organizovannykh v strukture RAID-5*. [The study of the properties of long-term electronic archival information storage on optical disks organized into a structure of RAID-5.] *Informacionnye tehnologii* [Information Technologies], 2018, v. 24, no. 9, pp. 586–593. DOI: 10.17587/it.24.586-593
- [13] Chernyshov A.V. *Postanovka naturного eksperimenta po opredeleniyu veroyatnosti vykhoda iz stroya diskov tipa BD-R s zapis'yu v protsesse khraneniya*. [Production of natural experiment of determining the probability of failure of BD-R recorded discs during storage] *Sistemnyy administrator* [System administrator] 2018, no. 5 (186), pp. 76–79.
- [14] van Ooijen P.M.A., Viddeleer A.R., Meijer F., Oudkerk M. *Accessibility of Data Backup on CD-R after 8 to 11 years*. *J Digit Imaging*, 2010, no. 23, pp. 95. DOI: 10.1007/s10278-008-9161-9

- [15] 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 to ensure the safety of information recorded on optical discs (Testing of a sample array of Federal archives documents)]. Moscow: RGANDT, 2011, 52 p.
- [16] Chernyshov A.V. *Otsenka veroyatnosti vykhoda iz stroya opticheskogo diska DVD-R s zapis'yu po rezul'tatam naturnogo eksperimenta* [Evaluation of the probability of failure of the optical disc DVD-R with recording on the results of full-scale experiment] *Sovremennye tekhnologii v zadachakh upravleniya, avtomatiki i obrabotki informatsii: Sbornik trudov XXVII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Modern technologies in control, automation and information processing: proceedings of the XXVII International scientific and technical conference]. Alushta, September 14–20 2018. Tambov: TSTU, 2018, p. 272.
- [17] Gold Archive DVD-R / + R. URL: <http://www.mam-a-store.com/golddvd.html> (accessed 03.03.2019).
- [18] *CD-R nositeli* [CD-R discs]. Available at: <https://www.ixbt.com/storage/cdr.shtml> (accessed 03.03.2019).
- [19] *Verbatim: Tekhnologii izgotovleniya* [Verbatim: Manufacturing techniques]. Available at: <https://www.verbatim.ru/ru/article/core-technologies/> (accessed 03.03.2019).
- [20] Venttsel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriya veroyatnostey i ee inzhenernye prilozheniya* [Theory of Probability and its Engineering Applications]. Moscow: Nauka [Science], 1988, 480 p.

Author's information

Chernyshov Aleksandr Viktorovich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), sch-ru@yandex.ru

Received 19.04.2019.

Accepted for publication 15.07.2019.