

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОГО ОБЪЕМА ДОЛГОВРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРОННОГО АРХИВА, ПОСТРОЕННОГО НА ОПТИЧЕСКИХ ДИСКАХ

**А.В. Чернышов**

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

Рассмотрена задача определения максимально возможного (технически достижимого) объема долговременного электронного архива, построенного на оптических дисках, не объединенных в массивы RAID. Представлена математическая модель, положенная в основу решения задачи, и приведен пример расчета целевого параметра для бюджетного архива небольшой организации. Рассмотрены возможные варианты увеличения целевого показателя при изменении некоторых исходных параметров, означающих снижение надежности хранения информации либо удорожание аппаратных средств обслуживания архива.

**Ключевые слова:** архивное хранение электронной информации, оптический диск BD-R, параметры, влияющие на емкость архива

**Ссылка для цитирования:** Чернышов А.В. Определение максимального объема долговременного электронного архива, построенного на оптических дисках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 3. С. 147–152. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-147-152

Долговременные архивы электронной информации локального типа (в отличие от облачных) вызывают интерес у многих организаций — от крупных корпораций до тех, где числится всего несколько работников. К последним можно отнести, в частности, различные музеи, в том числе краеведческие и школьные, которых ныне насчитывается несколько тысяч [1]. Большинство из них сталкивается с проблемой длительного хранения электронных копий оцифрованных фондов, объем которых иногда может быть значительным (от единиц до десятков и даже сотен терабайт), что неизбежно приводит к созданию электронного архива длительного (десятки лет) хранения информации.

Согласно ГОСТ [2] такие хранилища следует создавать исключительно применяя диски однократной записи (типа WORM). Проведенные нами изыскания [3] показали, что наиболее подходящим типом носителя информации для такого случая являются диски типа BD-R. Однако подавляющее большинство подобных организаций не имеют возможности приобрести дорогостоящее оборудование, автоматизирующее работу с массивами таких дисков (так называемые роботизированные библиотеки оптических дисков), что указано, например, в работах [4–8]. Поэтому для них актуальным остается подход с применением «ручного» метода манипулирования оптическими дисками при выполнении всех регламентных действий по обслуживанию архива [9, 10], среди которых особо выделяют: запись новых дисков,

перемещение их в архив, контроль состояния дисков в процессе их длительного хранения, замена вышедших из строя дисков на новые с восстановлением информации.

Такие действия обычно выполняет один системный администратор на одном компьютере с одним оптическим приводом, поэтому необходимость создания указанного архива обуславливает решение задачи определения его максимально достижимого объема при исходных данных, которые формулируются по условиям работы организации.

Имеющиеся публикации по проблематике создания и сопровождения долговременных электронных архивов на оптических дисках [11–20] не освещают этот вопрос, поэтому поиск ответа на него является актуальным.

### Условия задачи

Рассмотрим архив длительного хранения информации, создаваемый на дисках BD-R емкостью  $V = 25$  Гб. Каждый диск с записью является самостоятельным носителем (несет на себе полноценный фрагмент информации архива, не требующий для чтения привлечения других дисков, иными словами, диски не объединяются в структуры RAID). Для обеспечения необходимой надежности хранения информации каждый записанный оптический диск дублируется  $n$  раз.

Новая информация поступает в архив постепенно в объеме  $W$ , в год. Будем считать, что поступающая информация не требует дополнительной обработки и сразу готова для записи на оптические диски.

Процесс записи каждого диска состоит из двух фаз — собственно запись диска и последующая его верификация. Если в процессе верификации обнаружен отказ диска (воспроизведение с ошибками хотя бы части информации либо полная нечитабельность диска), то необходимо повторить запись той же информации на новый диск. Вероятность отказа диска сразу после записи обозначим как  $q_w$ , полное время записи одного диска — как  $t_w$ .

Диски, записанные в предыдущие годы, следует ежегодно контролировать на целостность. Для этого каждый диск должен быть считан. Наиболее доступным и унифицированным способом контроля корректности считываемой информации является проверка ее контрольных сумм. Обозначим время, необходимое на контроль целостности одного диска, как  $t_{r0}$ .

Диск может отказать с вероятностью  $q$ . Если обнаружен отказ диска (потеря на нем информации либо полная нечитабельность), то диск подлежит замене на новый. На нем необходимо восстановить информацию. Для этого ее следует считать с запасной копии (попутно выполнив верификацию считанной информации по контрольным суммам). Обозначим необходимое для этого время через  $t_r$ . После этого должна быть выполнена уже рассмотренная ранее процедура записи информации на диск, которая потребует времени  $t_w$ .

В самом предельном случае сумма всего затраченного времени на запись новых дисков, контроль и восстановление ранее записанных дисков не может превышать одного календарного года (стандарт требует ежегодного контроля целостности информации на архивных дисках). Однако на практике это время (обозначим его  $T$ ) еще меньше, поскольку, во-первых, системный администратор может выполнять эту работу только в течение рабочего дня, во-вторых, в работе архива необходимо еще выделять время на предоставление доступа к информации сотрудникам и посетителям.

Вполне реальна ситуация, когда объем хранимой в архиве информации станет настолько значительным, что время, необходимое для контроля целостности ранее записанных дисков, начнет занимать в общем объеме времени  $T$  столь значительную часть, что новой информации будет записываться все меньше и меньше.

В конце концов, все время  $T$  будет затрачено на контроль целостности ранее записанной информации.

## Цель работы

Цель работы — определение максимального объема электронного архива  $W$ , который может позволить себе небольшая организация при тех или других исходных данных, определяемых, в том числе принятым в ней регламентом работы с архивом.

## Расчетная модель

В общем случае для рассматриваемой структуры архива имеем следующую модель заполнения [21]:

1) количество новых записываемых дисков  $l_y = \text{const} = \left\lceil \frac{W_y}{V} \right\rceil$  до тех пор, пока процесс контроля

ранее записанных дисков будет оставлять достаточно времени для записи  $l_y$  новых дисков;

2) количество новых записываемых дисков будет постепенно уменьшаться вплоть до тех пор, пока все время  $T$  не начнет уходить только на контроль ранее записанных дисков.

Обозначим через  $\tilde{t}$  номер года, в который этап 1 перейдет в этап 2.

Тогда для этапа 1 имеем выражение

$$T \geq \left\lceil \frac{nl_y}{1-q_w} \right\rceil t_w + (\tilde{t}-1)nl_y t_{r0} + \left\lceil [(\tilde{t}-1)nl_y q] \right\rceil t_r + \left\lceil \frac{[(\tilde{t}-1)nl_y q]}{1-q_w} \right\rceil t_w.$$

После проведения всех преобразований получаем уравнение

$$\tilde{t} = \left\lceil \frac{T - nAl_y}{nBl_y} \right\rceil + 1.$$

Начиная с года  $t = \tilde{t} + 1$ , количество записываемых в год новых дисков будет представлять собой некоторую функцию  $l_f(t)$  (этап 2), и можно будет записать выражение

$$T \geq \left\lceil \frac{nl_f(t)}{1-q_w} \right\rceil t_w + t_{r0}n \left( \tilde{t}l_y + \sum_{i=1}^{t-\tilde{t}-1} l_f(\tilde{t}+i) \right) + \left\lceil qn \left( \tilde{t}l_y + \sum_{i=1}^{t-\tilde{t}-1} l_f(\tilde{t}+i) \right) \right\rceil t_r + \left\lceil \frac{qn \left( \tilde{t}l_y + \sum_{i=1}^{t-\tilde{t}-1} l_f(\tilde{t}+i) \right)}{1-q_w} \right\rceil t_w.$$

После преобразований получаем уравнение

$$l_f(t) = \left\lceil \left( \frac{T}{nA} - \tilde{t}l_y \frac{B}{A} \right) \left( 1 - \frac{B}{A} \right)^{t-\tilde{t}-1} \right\rceil, \quad t > \tilde{t}.$$

Здесь

$$A = \frac{t_w}{1-q_w}; \quad B = t_{r0} + qt_r + \frac{qt_w}{1-q_w}.$$

**Заполнение архива в течение нескольких лет**

**Filling in the archive for several years**

Номер года $t$	Суммарные затраты времени, мин	Записано новых дисков, $l_y$ или $l_f(t)$	Проконтролировано ранее записанных дисков, шт.	Объем информации в архиве $W$ , Гб	Всего дисков в архиве с учетом запасных копий, шт.
1	26961	160	0	4000	800
2	43107	160	160	8000	1600
3	59253	160	320	12000	2400
4	75366	160	480	16000	3200
5	91512	160	640	20000	4000
6	107658	160	800	24000	4800
7	123771	160	960	28000	5600
8	131337	109	1120	30725	6145
9	131229	43	1229	31800	6360
10	131136	17	1272	32225	6445
11	131220	7	1289	32400	6480
12	131073	2	1296	32450	6490
13	131109	1	1298	32475	6495
14	131037	0	1299	32475	6495

Также вычисляем год, после которого запись в архив станет невозможной:

$$t_f = \left\lceil \log_{(1-B/A)} \left( \frac{1}{\frac{T}{nA} - \tilde{l}_y \frac{B}{A}} \right) \right\rceil + \tilde{t} + 1.$$

В связи с тем, что нормальный срок службы оптических дисков с записью самими производителями определяется примерно в 30 лет, для достижения поставленной цели удобно выполнять расчет в табличном процессоре, где каждая строка таблицы будет соответствовать одному году эксплуатации архива. Для этого понадобится не более 30 строк. Рассматривать больший срок хранения дисков в архиве не имеет смысла, так как через 30 лет эксплуатации весь архив должен быть перезаложен на новых носителях и, скорее всего, к тому моменту будут носители уже совершенно другого типа.

**Пример расчета по модели**

Для выполнения конкретных расчетов рассмотрим наиболее бюджетный вариант архива, при котором в качестве аппаратуры создания и контроля архивных дисков используется обычный персональный компьютер с приводом BD-R. Специализированную аппаратуру для автоматизации работы с дисками закупать не следует. Такой вариант архива может подойти многим небольшим организациям, а, например, для школьных музеев он является единственно возможным.

Зададим следующие исходные данные:

- объем одного оптического диска  $V = 25$  Гб;
- вероятность отказа диска с записью при хранении в течение одного года  $q = 0,1$ ;

- вероятность отказа диска в момент записи (брак)  $q_w = 0,02$ ;

- количество запасных копий  $n = 5$ .

Будем использовать для работы с дисками в архиве не все рабочее время организации, поэтому  $T = 131\,400$  минут в год.

Затраты времени на работу с каждым диском определяются применяемой аппаратурой. В случае с одним компьютером с приводом BD-R имеем  $t_{r0} = 15$  мин,  $t_w = 33$  мин,  $t_r = 18$  мин.

В год для записи поступает новая информация в объеме  $W_y = 4000$  Гб.

В этом случае имеем результат

$\tilde{t} = 7$  лет;

$t_f = 14$  лет.

Остальные результаты расчета по годам приведены в таблице.

Из таблицы следует, что после года с номером 7 не удастся записывать ежегодно информацию в объеме  $W_y$ , а в год с номером 14 (как и показали аналитические расчеты) при заданных исходных данных практически все выделенное время  $T$  будет израсходовано на обслуживание ранее записанных дисков, т. е. на запись дисков с новой информацией времени не остается. К этому моменту в архиве будет храниться  $W = 32\,475$  Гб информации (немногим более 32 ТБ). Это и есть предельная емкость архива, технически достижимая при сформулированных исходных данных.

**Результаты и обсуждение**

Между предельно достижимой емкостью архива и надежностью хранения информации (точнее, вероятности потери какого-либо фрагмента информации) существует прямое противоречие.

Так, уменьшая количество запасных копий  $n$  с 5 до, например, 4, получаем увеличение вероятности потери информации (конкретные значения вероятностей здесь вычислять не будем), но при этом сможем увеличить технически достижимую емкость архива до  $W = 40\ 650$  Гб (при этом  $\tilde{t} = 9$ ,  $t_f = 16$ ).

Значения параметров  $q$ ,  $q_w$  получены в результате анализа доступных публикаций [22–24] и собственных экспериментов автора [25]. Они отражают действительность, и изменять их вряд ли имеет смысл.

Повлиять на значения параметров  $t_{r0}$ ,  $t_w$ ,  $t_r$ , не увеличивая затраты на аппаратуру (например, не добавляя второй привод BD-R, способный работать параллельно с первым), практически невозможно. Однако если такой привод все же будет добавлен, то можно принять, что значения параметров  $t_{r0}$ ,  $t_w$ ,  $t_r$  уменьшатся вдвое (на самом деле за то же самое время будет обслужено уже два диска). Тогда (при исходных  $n = 5$ ) удастся достичь емкости архива  $W = 65\ 050$  Гб (при  $\tilde{t} = 15$ ,  $t_f = 22$ ).

Изменение параметра  $W_y$  (уменьшение либо увеличение) способно повлиять только на время достижения предельной емкости архива, но сама предельная емкость останется прежней.

Увеличение емкости архива возможно за счет увеличения значения параметра  $T$ . Рассмотрим предельный случай, когда контроль дисков в архиве выполняется круглосуточно в течение всего года при первоначальных других исходных данных. Для обычного (не високосного) года  $T_{\max} = 525\ 600$  мин. В этом случае  $W = 130\ 200$  Гб (более 130 ТБ). Правда, при заданном  $W_y$  время заполнения такого архива превысит оговоренные нами 30 лет (составит 38 лет). И понятно, что здесь потребуются дополнительные затраты как минимум на зарплату системным администраторам, работающим в три смены.

## Выводы

В статье рассмотрена задача определения максимально возможного (технически достижимого) объема электронного архива длительного хранения, построенного на одиночных (не объединенных в RAID) оптических дисках однократной записи. Необходимая надежность хранения информации при этом достигается за счет создания запасных копий информации на таких же дисках.

Установлено, что на максимально возможный объем архива влияют следующие параметры:

– количество запасных копий (параметр коррелирован с надежностью хранения информации в архиве);

– время, необходимое для выполнения операций записи, контроля и восстановления диска (параметр коррелирован с материальными затратами на создание и эксплуатацию архива);

– время, выделяемое в течение года на обслуживание архива (запись новых дисков, контроль и восстановление ранее записанных; это время не может превышать длительности календарного года).

Приведен пример расчета для архива небольшой организации с минимальными аппаратными затратами (один компьютер с приводом BD-R). В соответствии с полученными результатами наиболее реально получить архив с максимально достижимой емкостью (примерно) от 32 ТБ до 40 ТБ, в зависимости от количества выполняемых запасных копий информации, что напрямую влияет на вероятность потери в процессе хранения части информации (вследствие возможного выхода из строя диска с записью в процессе хранения).

## Список литературы

- [1] Школьный музей: из века XX — в XXI // Музей, 2010. № 07. С. 70–73.
- [2] ГОСТ Р 54989-2012 / ISO TR 18492:2005 Обеспечение долговременной сохранности электронных документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200096286> (дата обращения 17.05.2021).
- [3] 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.
- [4] Data Archiver LB-DH8 series. URL: <http://panasonic.net/avc/archiver/lb-dh8/> (дата обращения 01.05.2021).
- [5] Optical Jukeboxes and Libraries: KINTRONIX: IP Security Solutions. URL: <https://kintronics.com/solutions/optical-jukeboxes-and-libraries/> (дата обращения 14.05.2021).
- [6] New Sony Everspan Library System Delivers Reliable Optical Disc Archiving For Data Centers // CDRinfo. URL: <http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=45763> (дата обращения 14.05.2021).
- [7] Panasonic LB-DM9 series Data Archiver. URL: <http://panasonic.net/avc/archiver/lb-dm9/LB-DM9series-PE.pdf> (дата обращения: 27.09.2021).
- [8] ODS-L10 Optical Disc Archive 10-Slot library. URL: <http://www.pro.sony.eu/pro/lang/en/eu/product/archiving-storage-oda-small-library/ods-l10/overview/> (дата обращения 17.05.2021).
- [9] Юмашева Ю.Ю. Методические рекомендации по электронному копированию архивных документов и управлению полученным информационным массивом. М.: ВНИИДАД, 2012. 125 с.
- [10] Рекомендации по комплектованию, учету и организации хранения электронных архивных документов в государственных и муниципальных архивах. М.: Федеральное архивное агентство. ВНИИДАД, 2013. 49 с.
- [11] Zalaev G.Z., Kalenov N.E., Tsvetkova V.A. Some Issues of Long-Term Storage of Electronic Documents // Sci. Tech. Inf. Proc., 2016, v. 43, no. 4, pp. 268–274. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0147688216040110>
- [12] Corrado E.M., Moulaison H.L. Digital Preservation for Libraries, Archives, and Museums // Libraries and the Academy, 2015, no. 15(2), pp. 375–376. DOI:10.1353/pla.2015.0019
- [13] Акимова Г.П., Пашкин М.А., Пашкина Е.В., Соловьев А.В. Электронные архивы: возможные решения проблем долгосрочного хранения данных // Труды Инсти-

- тута системного анализа Российской академии наук, 2013. Т. 63. № 4. С. 39–49.
- [14] 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.
- [15] Smith E. When Discs Die. // Tedium, 2017. URL: <https://tedium.co/2017/02/02/disc-rot-phenomenon/> (дата обращения 18.11.2019).
- [16] Корепанов И. Как сохранить архив на десятилетия? // Журнал сетевых решений/LAN, 2008. № 03. URL: <http://www.osp.ru/lan/2008/03/4899898/> (дата обращения 04.11.2021).
- [17] Российские организации начинают строить электронные архивы на оптических дисках // Ассоциация электронных торговых площадок. URL: <http://www.aetrp.ru/market-news/item/400867> (дата обращения 13.11.2019).
- [18] Haus G., Polizzi C., Visconti A. Preserving cultural heritage: A new approach to increase the life expectancy of optical discs // J. of Cultural Heritage, 2018, vol. 29, pp. 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.08.004>
- [19] Лобанов А.К. Методы построения систем хранения данных // Jet Info Online, 2003, no. 7. URL: <http://citforum.ru/hardware/data/db/> (дата обращения 05.05.2019).
- [20] Маличенко Д.А. Эвристический алгоритм расчета размеров памяти в многоуровневой системе хранения // Информационно-управляющие системы, 2015. № 5. С. 100–105. DOI: 10.15217/issn1684-8853.2015.5.100
- [21] Чернышов А.В. Модель планирования количества оптических дисков, необходимых для создания и поддержания долговременного электронного архива. // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления, 2019. Т. 15. Вып. 4. С. 578–591. DOI: <https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2019.413>
- [22] 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](http://www.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah) (дата обращения 12.10.2019).
- [23] Пилипчук М.И., Балакирев А.Н., Дмитриева Л.В., Заляев Г.З. Рекомендации по обеспечению сохранности информации, записанной на оптических дисках (Тестирование выборочного массива документов федеральных архивов). М.: Изд-во РГАНТД, 2011. 52 с.
- [24] Zheng J., Slattery O.T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. September, 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 11.05.2019).
- [25] Чернышов А.В. О результатах тестирования целостности информации на оптических дисках BD-R в электронном архиве за три года хранения. // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021): Сб. науч. статей по материалам XVIII Междунар. науч.-техн. конф., г. Пенза, 24–26 ноября 2021 г. Пенза: Изд-во ПГУ, 2021. С. 170–173.

## Сведения об авторе

**Чернышов Александр Викторович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н. Э. Баумана (Мытищинский филиал), [sch@mgul.ac.ru](mailto:sch@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 17.12.2021.

Одобрено после рецензирования 04.03.2022.

Принята к публикации 18.05.2022.

## DETERMINATION OF THE MAXIMUM VOLUME OF A LONG-TERM ELECTRONIC ARCHIVE BUILT ON OPTICAL DISKS

**A.V. Chernyshov**

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

[sch@mgul.ac.ru](mailto:sch@mgul.ac.ru)

The problem of determining the maximum possible (technically achievable) volume of a long-term electronic archive built on optical disks that are not combined into RAID arrays is considered. To achieve the necessary reliability of storing information on the same disks, several backup copies of information are made. The parameters that most significantly affect the target indicator are: the number of backup copies; the time spent on writing, reading, restoring an optical disk; the total time during the year allocated for disk maintenance in the archive. The article shows the mathematical model underlying the solution of the problem, and provides an example of calculating the target parameter for the budget archive of a small organization. Possible options for increasing the target indicator are considered when some initial parameters change, meaning a decrease in the reliability of information storage, or an increase in the cost of archive maintenance hardware.

**Keywords:** archival storage of electronic information; BD-R optical disk; parameters affecting archive capacity

**Suggested citation:** Chernyshov A.V. *Opreделение maksimal'nogo ob'ema dolgovremennogo elektronnoyego arkhiva, postroennogo na opticheskikh diskakh* [Determination of the maximum volume of a long-term electronic archive built on optical disks]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2022, vol. 26, no. 3, pp. 147–152.

DOI: 10.18698/2542-1468-2022-3-147-152

## References

- [1] *Shkol'nyy muzey: iz veka XX — v XXI* [School Museum: from the 20th century to the 21st]. Muzei [Museum], 2010, no. 07, pp. 70–73.
- [2] GOST R 54989-2012 / ISO TR 18492:2005 *Obespechenie dolgovremennoy sokhrannosti elektronnykh dokumentov* [Long-term preservation of electronic documents]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/1200096286> (accessed 17.05.2021).
- [3] Chernyshov A.V. *K voprosu o primeneni opticheskikh diskov dlya sozdaniya dolgovremennykh elektronnykh arkhivnykh khranilishch informatsii nebol'shikh organizatsiy* [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 Technologies], 2016, v. 22, no. 8, pp. 635–640.
- [4] Data Archiver LB-DH8 series. Available at: <http://panasonic.net/avc/archiver/lb-dh8/> (accessed 01.05.2021).
- [5] Optical Jukeboxes and Libraries: KINTRONIX: IP Security Solutions. Available at: <https://kintronics.com/solutions/optical-jukeboxes-and-libraries/> (accessed 14.05.2021).
- [6] New Sony Everspan Library System Delivers Reliable Optical Disc Archiving For Data Centers. CDRinfo. Available at: <http://www.cdrinfo.com/Sections/News/Details.aspx?NewsId=45763> (accessed 14.05.2021).
- [7] Panasonic LB-DM9 series Data Archiver. Available at: <http://panasonic.net/avc/archiver/lb-dm9/LB-DM9series-PE.pdf> (accessed 27.09.2021).
- [8] ODS-L10 Optical Disc Archive 10-Slot library. Available at: <http://www.pro.sony.eu/pro/lang/en/eu/product/archiving-storage-oda-small-library/ods-l10/overview/> (accessed 17.05.2021).
- [9] 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 p.
- [10] *Rekomendatsii po kompletovaniyu, 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 Archival Agency. VNIIDAD, 2013, 49 p.
- [11] Zalaev G.Z., Kalenov N.E., Tsvetkova V.A. Some Issues of Long-Term Storage of Electronic Documents. *Sci. Tech. Inf. Proc.*, 2016, v. 43, no. 4, pp. 268–274. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0147688216040110>
- [12] Corrado E.M., Moulaison H.L. Digital Preservation for Libraries, Archives, and Museums. *Libraries and the Academy*, 2015, no. 15(2), pp. 375–376. DOI: [10.1353/pla.2015.0019](https://doi.org/10.1353/pla.2015.0019)
- [13] Akimova G.P., Pashkin M.A., Pashkina E.V., Solov'ev A.V. *Elektronnye arkhivy: vozmozhnye resheniya problem dolgosrochnogo khraneniya dannykh* [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, v. 63, no. 4, pp. 39–49.
- [14] 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.
- [15] Smith E. When Discs Die. *Tedium*, 2017. Available at: <https://tedium.co/2017/02/02/disc-rot-phenomenon/> (accessed 18.11.2019).
- [16] Korepanov I. *Kak sokhranit' arkhiv na desyatileniya?* [How to save the archive for decades?]. *Zhurnal setevykh resheniy/LAN* [Journal of Network Solutions/LAN], 2008, no. 03. Available at: <http://www.osp.ru/lan/2008/03/4899898/> (accessed 04.11.2021).
- [17] *Rossiyskie organizatsii nachinayut stroit' elektronnye arkhivy na opticheskikh diskakh* [Russian organizations are starting to build electronic archives on optical discs]. *Assotsiatsiya elektronnykh torgovykh ploshchadok* [Association of electronic trading platforms]. Available at: <http://www.aetp.ru/market-news/item/400867> (accessed 13.11.2019).
- [18] Haus G., Polizzi C., Visconti A. Preserving cultural heritage: A new approach to increase the life expectancy of optical discs. *J. of Cultural Heritage*, 2018, vol. 29, pp. 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.08.004>
- [19] Lobanov A.K. *Metody postroyeniya sistem khraneniya dannykh* [Methods for building data storage systems]. *Jet Info Online*, 2003, no. 7. Available at: <http://citforum.ru/hardware/data/db/> (accessed 05.05.2019).
- [20] Malichenko D.A. *Evristsicheskiy algoritm rascheta razmerov pamyati v mnogourovnevnoy sisteme khraneniya* [Heuristic algorithm for calculating memory sizes in a multilevel storage system]. *Information and Control Systems*, 2015, no. 5, pp. 100–105. DOI: [10.15217/issn1684-8853.2015.5.100](https://doi.org/10.15217/issn1684-8853.2015.5.100)
- [21] Chernyshov A.V. *Model' planirovaniya kolichestva opticheskikh diskov, neobkhodimyykh dlya sozdaniya i podderzhaniya dolgovremennogo elektronnoy arkhiva* [A planning model for the number of optical discs required to create and maintain a long-term electronic archive]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Prikladnaya matematika. Informatika. Protsesty upravleniya* [Bulletin of St. Petersburg University. Applied Mathematics. Informatics. Management processes], 2019, v. 15, iss. 4, pp. 578–591. DOI: <https://doi.org/10.21638/11702/spbu10.2019.413>
- [22] Ustinov V. *Khraneniye dannykh na CD- i DVD-diskakh: na nash vek khvatit?* [Storing data on CDs and DVDs: enough for our age?]. *BROADCASTING: Televideniye i radioveshchanie* [BROADCASTING: Television and radio broadcasting], 2006, no. 4. Available at: [http://www.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie\\_dannyh\\_na\\_CD\\_DVD\\_diskah](http://www.broadcasting.ru/articles2/Oborandteh/hranenie_dannyh_na_CD_DVD_diskah) (accessed 10.12.2019).
- [23] Pilipchuk M.I., Balakirev A.N., Dmitrieva L.V., Zalaev G.Z. *Rekomendatsii po obespecheniyu sokhrannosti informatsii, zapisannoy na opticheskikh diskakh (Testirovaniye vyborochnogo massiva dokumentov federal'nykh arkhivov)* [Recommendations for ensuring the safety of information recorded on optical discs (Testing a selective array of federal archive documents)]. Moscow: RGANTD, 2011, 52 p.
- [24] Zheng J., Slattey O.T. NIST/Library of Congress Optical Disc Longevity Study: Final Report. September, 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) (accessed 11.05.2019).
- [25] Chernyshov A.V. *O rezul'tatakh testirovaniya tselosnosti informatsii na opticheskikh diskakh BD-R v elektronnom arkhive za tri goda khraneniya* [On the results of testing the integrity of information on BD-R optical discs in an electronic archive for three years of storage]. *Novye informatsionnye tekhnologii i sistemy (NITIS-2021): Sbornik nauchnykh statey po materialam XVIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [New information technologies and systems (NITIS-2021): Collection of scientific articles based on the materials of the XVIII International Scientific and Technical Conference], Penza, November 24–26, 2021. Penza: PSU Publishing House, 2021, pp. 170–173.

## Author's information

**Chernyshov Aleksandr Viktorovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), [sch@mgul.ac.ru](mailto:sch@mgul.ac.ru)

Received 17.12.2021.

Approved after review 04.03.2022.

Accepted for publication 18.05.2022.