

И.Н. Насыров, И.И. Насыров, Р.И. Насыров

МЕТОД МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЖЕСТКИХ ДИСКОВ

Аннотация

Изложен метод многопараметрической оценки надежности накопителей информации, базирующийся на зависимости от времени эксплуатации значений SMART-параметров, характеризующих состояние жестких магнитных дисков в системах хранения данных. Рассмотрены параметры, при увеличении значений которых возрастает вероятность выхода из строя дисковых накопителей информации. Научной задачей исследования является установление в отказавших жестких дисках важности указанных параметров с позиции разработки метода оценки надежности накопителей информации различных производителей. В ходе исследования были проанализированы накопители торговых марок «HGST», «Hitachi», «Samsung», «ST», «Toshiba», «WDC», эксплуатировавшихся в крупнейшем коммерческом data-центре «Backblaze». В результате анализа выявлен следующий набор наиболее важных параметров: 5 Reallocated sectors count (число переназначенных секторов), 196 Reallocation event count (число успешных и неуспешных попыток переназначения), 197 Current pending sector count (число секторов, являющихся кандидатами на замену), 1 Read error rate (частота ошибок при чтении данных с диска), 9 Power-on hours (число часов, проведенных во включенном состоянии), 7 Seek error rate (частота ошибок при позиционировании блока магнитных головок), 3 Spin-up time (время раскрутки пакета дисков из состояния покоя до рабочей скорости), 10 Spin-up retry count (число повторных попыток раскрутки дисков до рабочей скорости в случае, если первая попытка была неудачной). Принято во внимание, что само наличие значений рассмотренных параметров зависит от производителя жестких дисков.

Ключевые слова: информация, накопитель, жесткий диск, надежность, параметр, метод.

Введение

В работе рассмотрено изменение от времени эксплуатации значений параметров SMART (self-monitoring, analysis and reporting technology – технология самоконтроля, анализа и отчетности), используемых для внутренней оценки состояния жесткого магнитного диска, а также для предсказания возможного выхода его из строя. Выбраны параметры, являющиеся критическими в том смысле, что если их значения увеличиваются, то возрастает вероятность выхода из строя дисковых накопителей информации. Научной задачей исследования является установление в отказавших жестких дисках важности указанных параметров с позиции разработки метода многопараметрической оценки надежности накопителей информации различных производителей.

В ходе исследования были проанализированы накопители, эксплуатировавшиеся в крупнейшем коммерческом data-центре «Backblaze» (США). Это жесткие диски торговых марок «HGST» («Hitachi Global Storage Technologies», Япония),

«Hitachi» (позднее – «HGST», Япония), «Samsung» (Южная Корея), «ST» («Seagate», США), «Toshiba» (Япония), «WDC» («Western Digital», США). В результате анализа выявлен следующий набор параметров (в порядке убывания степени важности): 5 Reallocated sectors count (число переназначенных секторов), 196 Reallocation event count (число успешных и неуспешных попыток переназначения), 197 Current pending sector count (число секторов, являющихся кандидатами на замену), 1 Read error rate (частота ошибок при чтении данных с диска), 9 Power-on hours (число часов, проведенных во включенном состоянии), 7 Seek error rate (частота ошибок при позиционировании блока магнитных головок), 3 Spin-up time (время раскрутки пакета дисков из состояния покоя до рабочей скорости), 10 Spin-up retry count (число повторных попыток раскрутки дисков до рабочей скорости в случае, если первая попытка была неудачной). Принято во внимание, что само наличие значений рассмотренных параметров зависит от производителя жестких дисков. Дополнительной проблемой является то, что

смысл этих параметров у разных производителей не всегда совпадает.

Методы

Были рассмотрены зависимости значений параметров от времени эксплуатации у вышедших из строя накопителей информации на жестких магнитных дисках, приведенные на сайте компании «Backblaze» [1]. Проанализированы 45 параметров SMART 92 530 накопителей 93 моделей 6 торговых марок «HGST», «Hitachi», «Samsung», «ST», «Toshiba», «WDC» за период с 10 апреля 2013 г. по 31 декабря 2016 г. Обнаружено, что на конец исследуемого периода продолжали нормально работать 79,58 % накопителей, были досрочно сняты с эксплуатации 14,74 %, вышли из строя 5,68 %.

Всего доступны сведения о смысловом значении более 80 параметров SMART из 256, однако большинство из них производителями не используются [2]. Поэтому специалисты «Backblaze» записывали в 2013-2014 годах только 40 из них, а начиная с 2015 года – 45 с номерами 1-5, 7-13, 15,

22, 183, 184, 187-201, 220, 222-226, 240-242, 250-252, 254, 255 (в 2015 году добавили номера 22, 220, 222, 224, 226).

Результаты и обсуждение

Наилучшим для отображения состояния поверхности жестких дисков является параметр 5 Reallocated sectors count. Он используется всегда для всех накопителей и одинаково интерпретируется всеми производителями. Доказательство приоритетности числа переназначенных секторов при оценке состояния жесткого диска представлено в [3], где приведены результаты исследования по 100 000 накопителей в серверах по всему миру, выполненного компанией «Google». Обнаружено, что его изменения совпадают с изменениями параметров 1, 196, 197. Пример такого совпадения для вышедшего из строя жесткого диска торговой марки «HGST» представлен на *рис. 1*.

Аналогичное совпадение наблюдается для отказавших дисков торговых марок «Hitachi» (*рис. 2*), «Toshiba» (*рис. 3*), «WDC» (*рис. 4*).

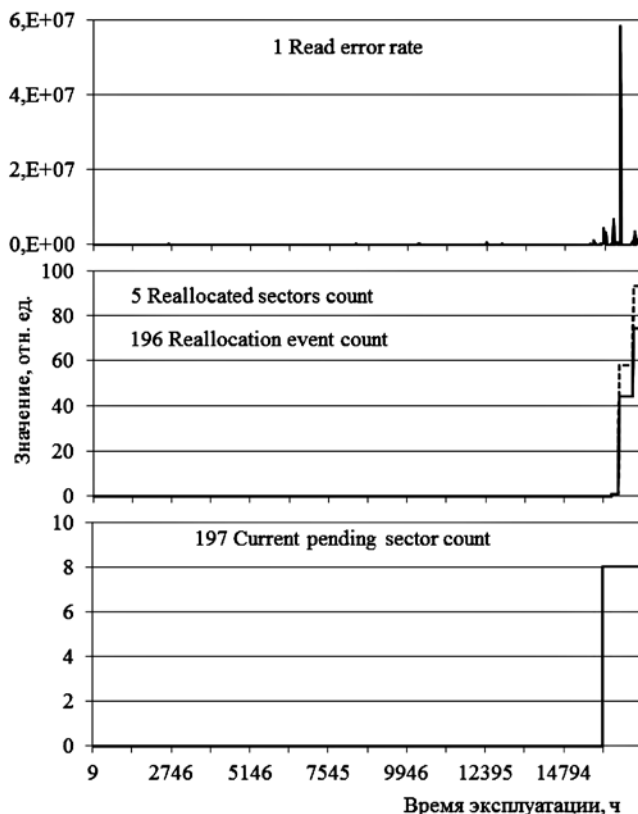


Рис. 1. Значения параметров 1, 5, 197 (сплошная линия) и 196 (пунктирная) в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели «HGST HMS5C4040ALE640» с номером PL2331LAGSTGLJ емкостью 4 ТБ

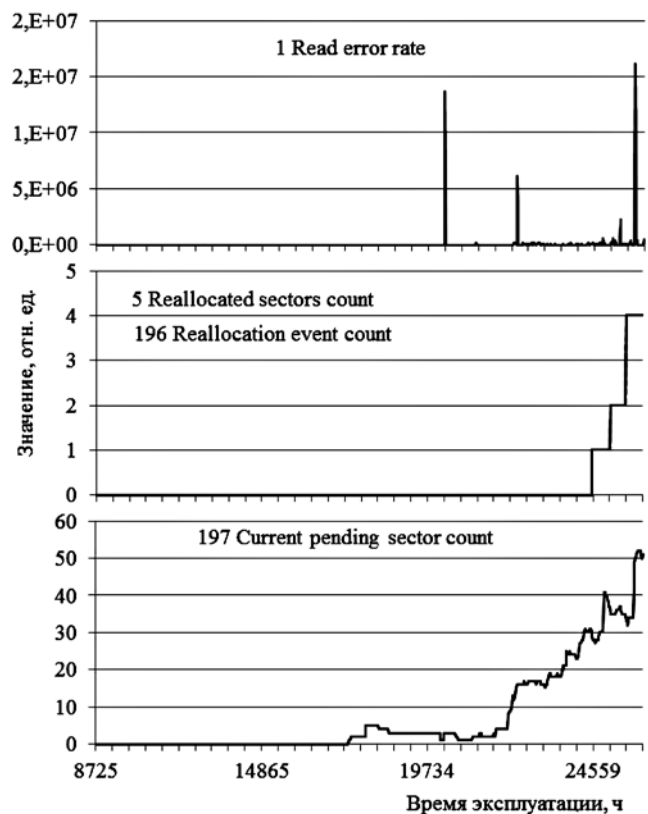


Рис. 2. Значения параметров 1, 5, 197 (сплошная линия) и 196 (пунктирная) в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели «Hitachi HDS5C3030ALA630» с номером MJ1311YNG72PXA емкостью 3 ТБ

У единственного потерявшего работоспособность диска производителя «Samsung» параметры 5 и 196 равны нулю. Тем не менее совпадение изменения параметров 1 и 197 все равно наблюдается (рис. 5). Здесь дополнительно приведены параметры 13 и 183, для того чтобы обозначить иную причину выхода из строя накопителя.

Похожее на предыдущие, но без параметра 196, который отсутствует у всех дисков производства «Seagate», и с хаотичным характером изменения параметра 1, совпадение имеется для отказавших дисков торговой марки «ST» (рис. 6).

Как видно из рис. 1-6, обычно параметр 1 изменяется раньше всех остальных. Здесь он характеризует появление самых первых ошибок записи/считывания. Затем изменяется параметр 197, который показывает число секторов, в которых эти затруднения записи/считывания наблюдаются. Далее изменяются параметры 196 и 5 со всеми или только с удачными попытками переназначения соответственно.

Параметр 1 Read error rate характеризует частоту ошибок при чтении данных с диска, проис-

хождение которых обусловлено аппаратной частью диска. Это число внутренних коррекций данных, проведенных до выдачи в интерфейс. Могут выдаваться огромные цифры. Параметр 5 Reallocated sectors count характеризует число переназначенных секторов. Когда диск обнаруживает ошибку записи/считывания, он помечает сектор «переназначенным» и переносит данные в специально отведенную резервную область. Рост значения этого атрибута может свидетельствовать об ухудшении состояния поверхности блинов диска. Параметр 196 Reallocation event count показывает число операций переназначения. Атрибут характеризует общее число попыток переноса информации с переназначенных секторов в резервную область. Учитываются как успешные, так и неуспешные попытки. Параметр 197 Current pending sector count показывает число секторов, являющихся кандидатами на замену. Они не были еще определены как плохие, но считывание с них отличается от чтения стабильного сектора – это так называемые подозрительные, или нестабильные, секторы. В случае ус-

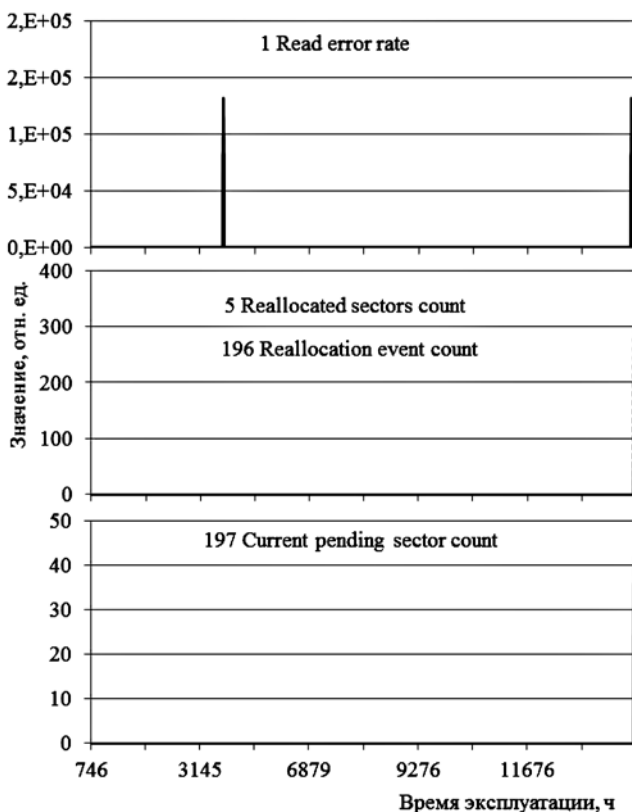


Рис. 3. Значения параметров 1, 5, 197 (сплошная линия) и 196 (пунктирная) в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели «Toshiba DT01ACA300» с номером Z252A34AS емкостью 3 ТБ

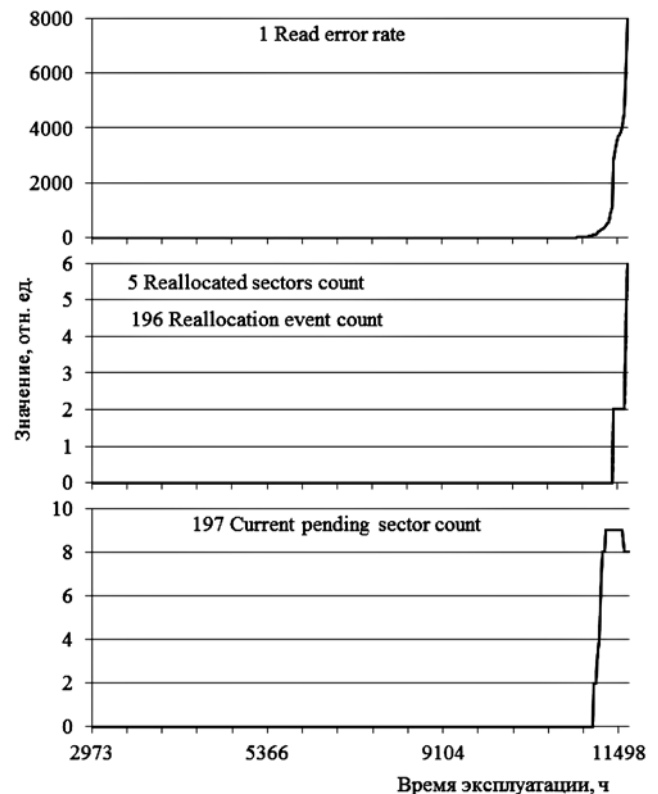


Рис. 4. Значения параметров 1, 5, 197 (сплошная линия) и 196 (пунктирная) в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели «WDC WD30EFRX» с номером WD-WMC1T0811229 емкостью 3 ТБ

пешного последующего прочтения сектора он исключается из числа кандидатов. В случае повторных ошибочных чтений накопитель пытается восстановить его и выполняет операцию переназначения. Рост значения этого атрибута может свидетельствовать о физической деградации жесткого диска.

При анализе предлагается учесть приоритет для пользователей как данных о надежности, так и вида отказов жестких дисков. Наиболее приоритетной является группа параметров 5, 196, 197, 1, связанных с состоянием пространства памяти. Эти параметры имеются в наличии всегда для всех накопителей всех типов почти всех производителей [196 отсутствует у жестких дисков «Samsung» и «Seagate» (торговая марка «ST»)].

Вторым по приоритетности обязательно надо применить стандартное определение надежности как времени наработки до отказа, чему соответствует всегда имеющийся в наличии параметр 9 Power-on hours [5].

Третьим по приоритетности является параметр 7 Seek error rate, характеризующий частоту ошибок при позиционировании блока магнитных головок [6].

Четвертой по приоритетности является группа параметров, связанных с механикой приводов вращения жестких дисков: 10 Spin-up retry count, 3 Spin-up time [7].

Анализ отказов накопителей по относительным [8] или абсолютным [9] значениям этих па-

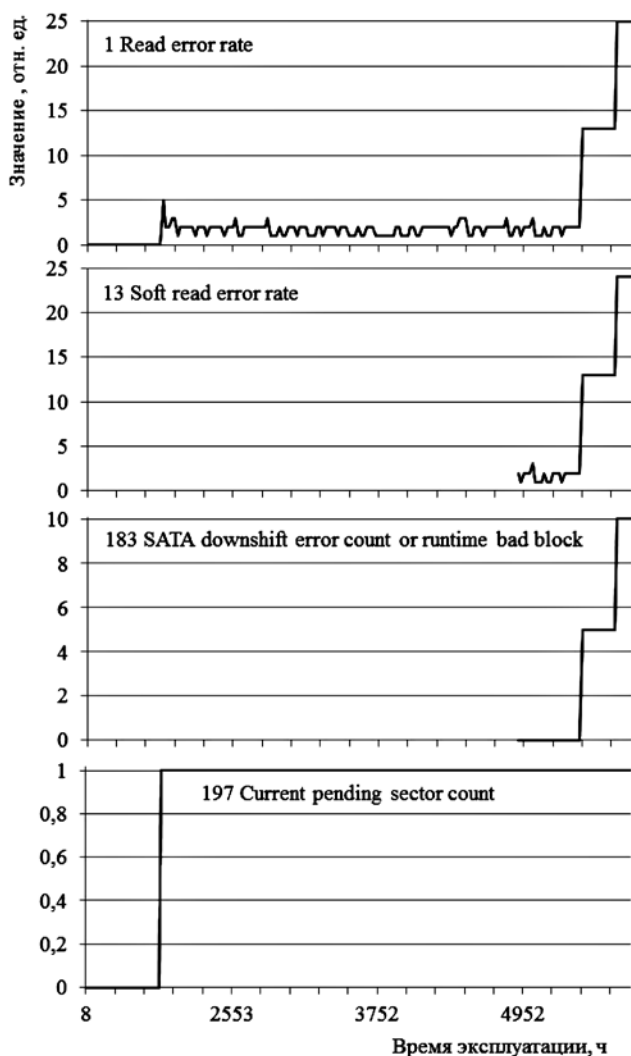


Рис. 5. Значения параметров 1, 13, 183, 197 в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели «Samsung HD154UI» с номером S2CHJR0Z900286 емкостью 1,5 ТБ [4]

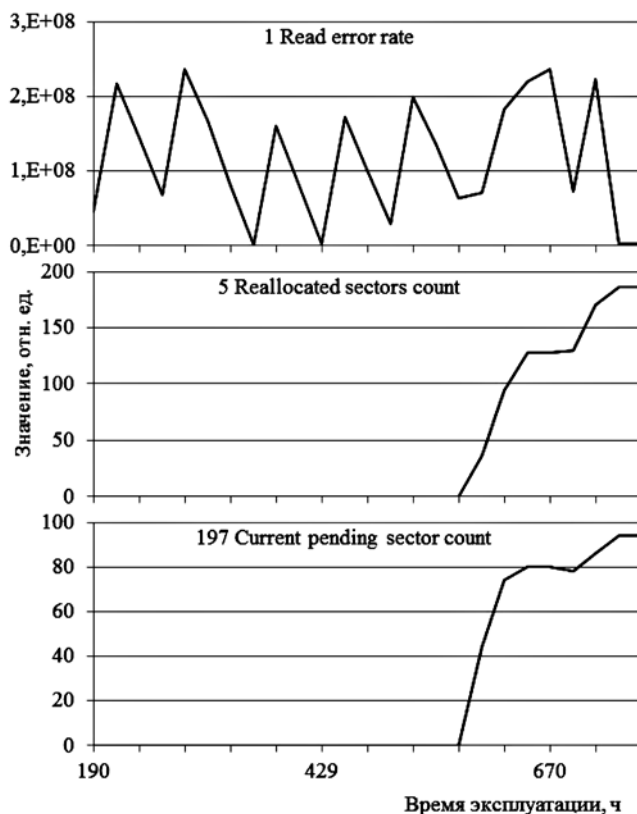


Рис. 6. Значения параметров 1, 5, 197 в зависимости от времени эксплуатации для отказавшего жесткого диска модели ST4000DM000 с номером Z300WWF9 емкостью 4 ТБ

раметров подтверждает их важность для разработки метода оценки и прогнозирования выхода из строя жестких дисков.

Следовательно, исходя из смысла и наличия значений параметров при отображении накопителей по степени вероятности отказа, нужно использовать сортировку сначала по параметрам 5, 196, 197 и 1, затем – по 9, далее – по 7, 3 и 10.

Для наглядности визуализации состояния накопителя данные на дисплее маркируются цветом. Для цветовой градации используются границы уровней интенсивности отказов с учетом обнаруженного факта переназначения секторов целыми дорожками (кратно 8).

В разрабатываемом методе предусмотрено, что произвести оценку вероятности выхода накопителя из строя можно также при помощи математической модели, например основанной на нейронных сетях. В настоящее время в разных странах мира данное направление активно изучается различными группами ученых [10]-[12].

Наибольшее число вышедших из строя накопителей в зависимости от времени эксплуатации имеют низкие или нулевые значения параметров. Поэтому предлагаем, во-первых, для оценки надежности жестких дисков рассматривать не один параметр, а несколько; во-вторых, сначала рассматривать параметр 5, затем – 196, потом – 197 и 1, далее – остальные; в-третьих, ранжировать диски по значениям параметров в порядке указанной приоритетности параметров; в-четвертых, ввести цветовую визуализацию со степенями градации согласно критериям опасности отказов.

Отсюда вытекает суть метода оценки надежности накопителей информации, включающего в себя следующую последовательность решаемых задач как его элементов:

- 1) подбор параметров надежности накопителей информации;
- 2) определение критериев уровней опасности отказов;
- 3) формулирование модели оценки вероятности отказа;
- 4) разработка алгоритма ранжирования накопителей по степени надежности;
- 5) составление программы визуализации опасности их отказов.

Для оценки риска отказа накопителей информации различных производителей была предложена матричная многопараметрическая модель. Она представляет собой многомерный массив,

где ячейки образованы диапазонами значений параметров с границами, установленными согласно критериям уровней опасности отказов. Был рассмотрен относительно простой случай только с параметрами 1, 5, 9, 197 и диапазонами 0, 1, 2...8; свыше 8 ед. для параметров 1, 5, 197 и меньше 8 760 ч (1 год); от 8 760 до 17 520, от 17 520 до 43 800, от 43 800 и выше часов для параметра 9. Всего в матрице $4 \times 4 \times 4 \times 4 = 256$ ячеек. В каждой ячейке записывалось количество работающих, снятых досрочно и отказавших накопителей со значениями параметров, попадающих в соответствующий диапазон. Вероятность отказа определялась как отношение количества отказавших накопителей к их общему числу в каждой ячейке. Было обнаружено, что 98 (38,28 %) ячеек оказались пустыми, в 33 (12,89 %) попал только один накопитель, в 17 (6,64 %) – два, в 14 (5,47 %) – три, в 10 (3,91 %) – четыре, в 84 (32,81 %) – свыше четырех. Пришлось пустые ячейки заполнить предположительными оценками риска отказа. Попутно возникает закономерный вопрос: на чем же тогда тренировать в пустых диапазонах нейронные сети?

С практической точки зрения представляет интерес такая реализация метода, при которой оператор видит на экране не только одну цифру вероятности выхода из строя каждого накопителя, а сразу все накопители, рассортированные по убыванию по группам риска отказа: сначала по параметру наивысшего риска, но если встречаются накопители с одинаковыми значениями этого параметра, то вторично отсортированные по следующему по приоритетности риску параметру и т. д. Когда у наиболее приоритетного по риску отказа параметра значения становятся нулевыми, то таким же образом сортируются накопители по следующему по приоритетности параметру. В итоге оператору достаточно одного взгляда на экран, чтобы только по расположению, цвету и величине соответствующих столбцов с накопителями оценить общую картину состояния сразу всего пространства памяти в data-центре, включая возможные причины выхода из строя жестких дисков.

Следовательно, научная новизна разработанного метода заключается в сочетании модели матричной многопараметрической оценки надежности накопителей информации с учетом вероятности их отказа и алгоритма ранжирования накопителей информации по степени надежно-

сти с применением выявленной приоритетности параметров, что позволяет визуализировать все самые необходимые сведения одновременно для всех накопителей.

Выводы

Показано, что на базе наиболее важных параметров надежности, значения которых имеются в наличии для жестких магнитных дисков всех производителей, можно разработать метод многопараметрической оценки надежности накопителей информации с учетом вероятности их отказа.

В дальнейшем обоснованием применения указанных параметров является то, что для характеристики состояния пространства памяти точно такие же параметры практически с тем же самым смыслом применяются в твердотельных накопителях информации [13], [14]. Естественно параметры позиционирования головок записи/считывания или механизмов вращения дисков в твердотельных накопителях не используются, хотя нумерация остается прежней. Поэтому в перспективе при переходе крупных data-центров к хранению информации в накопителях указанного типа никаких дополнительных изменений кроме исключения параметров 3, 7 и 10 в разработанный метод вносить не придется.

Заключение

В работе [15] проводились аналогичные исследования на этих же данных с разнородными группами дисков, где выполнялся поиск универсальных предикторов сбоев, которые могли бы применяться к дискам всех марок и моделей. Главной проблемой было значительное количество SMART-параметров, данные по которым отсутствовали для большинства марок и моделей накопителей. В результате авторы вынуждены были отбросить параметры, которые отсутствовали по крайней мере у 90 % дисков, после чего остался всего 21 параметр.

В работе [16] отмечено, что у разных производителей одни и те же параметры SMART могут иметь не совсем одинаковый смысл. Там же был определен набор параметров, который коррелирует с частотой отказов жестких дисков, в том числе параметры 1, 5, 197.

В работах [17]-[19] тоже использовались SMART-параметры указанного набора данных data-центра компании «Backblaze» для определения интенсивности и прогнозирования отказов дисковых накопителей информации. В [20], [21] для прогнозирования выхода дисков из строя применялись нейронные сети. В [22], [23] использовались алгоритмы машинного обучения.

Таким образом, рассматриваемая тема является актуальной, а изложенный в статье метод обладает научной новизной и позволяет задачу многопараметрической оценки надежности накопителей информации решать комбинированно, с применением выявленных в результате исследования наиболее важных с этой точки зрения параметров.

Список литературы:

1. Backblaze. Hard Drive Data and Stats / <https://www.backblaze.com/b2/hard-drive-test-data.html> (дата доступа: 15.01.2021).
2. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Study of Failure Hazard Degree in Large Data Centers // *Helix*. 2019. Vol. 9. Iss. 5. PP. 5345-5349.
3. Pinheiro E., Weber W.-D., Barroso L.A. Failure Trends in a Large Disk Drive Population / *Proceedings of the 5th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST'07)*. San Jose, California, USA, 13-16 February, 2007. PP. 17-28.
4. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Reallocated sectors count parameter for analysing hard disk drive reliability // *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. 2019. Vol. 16. Iss. 12. PP. 5298-5302.
5. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Dependence of reallocated sectors count on HDD power-on time // *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7. Iss. 4.7. Spec. Iss. 7. PP. 200-203.
6. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Positioning errors indication by Seek error rate and other HDD parameters // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2019. Vol. 11. Iss. 8. Spec. Iss. PP. 1797-1805.
7. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Spin retry count relation with other HDD parameters // *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*. 2019. Vol. 16. Iss. 12. PP. 5303-5306.
8. Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A. Data mining for information storage reliability assessment by relative values // *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7. Iss. 4.7. Spec. Iss. 7. PP. 204-208.

9. *Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A.* Parameters selection for information storage reliability assessment and prediction by absolute values // *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 2018. Vol. 10. Iss. 2. Spec. Iss. PP. 2248-2254.
10. *Basak S., Sengupta S., Dubey A.* Mechanisms for integrated feature normalization and remaining useful life estimation using LSTMs applied to hard-disks / *Proceedings of the IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP)*. Washington, DC, USA, 12-15 June, 2019. 8784059. PP. 208-216. INSPEC Accession Number: 18883675.
11. *Yiğit I.O., Arslan S.S., Zeydan E.* A visualization platform for disk failure analysis / *Proceedings of the 26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*. Izmir, Turkey, 2-5 May, 2018. PP. 1-4. INSPEC Accession Number: 17914230.
12. *Aussel N., Jaulin S., Gandon G., Petetin Y., Fazli E., Chabridon S.* Predictive models of hard drive failures based on operational data / *Proceedings of the 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. Cancun, Mexico, 18-21 December, 2017. PP. 619-625. INSPEC Accession Number: 17522042.
13. Kingston Technology Corporation. SMART Attribute Details / https://drive.google.com/file/d/0B2RTg5K2_LNEZWpERIBjQ3BaM00/view (дата доступа: 15.01.2021).
14. Micron Technology, Inc. Technical note: Client SATA SSD SMART Attribute Reference / https://drive.google.com/file/d/0B2RTg5K2_LNETEF5aGhIVDgtNkU/view (дата доступа: 15.01.2021).
15. *Rincón C.A.C., Paris J.-F., Vilalta R., Cheng A.M.K., Long D.D.E.* Disk failure prediction in heterogeneous environments / *Proceedings of the International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS 2017)*. Seattle, WA, USA, 9-12 July, 2017.
16. *Mashhadi A.R., Cade W., Behdad S.* Moving towards Real-time Data-driven Quality Monitoring: A Case Study of Hard Disk Drives // *Procedia Manufacturing*. 2018. № 26. PP. 1107-1115.
17. *Gaber S., Ben-Harush O., Savir A.* Predicting HDD failures from compound SMART attributes / *Proceedings of the 10th ACM International Systems and Storage Conference (SYSTOR '17)*. Haifa, Israel, 22-24 May, 2017. Article № 31.
18. *Mashhadi A.R., Behdad S.* Optimal sorting policies in remanufacturing systems: Application of product lifecycle data in quality grading and end-of-use recovery // *Journal of Manufacturing Systems*. 2017. № 43 (Part 1). PP. 15-24.
19. *Su C.J., Huang S.F.* Real-time big data analytics for hard disk drive predictive maintenance // *Computers & Electrical Engineering*. 2018. № 71. PP. 93-101.
20. *Gopalakrishnan P.K., Behdad S.* Usage of product lifecycle data to detect hard disk drives failure factors / *Proceedings of the ASME International Design Engineering Technical Conference*. Cleveland, Ohio, USA, 6-9 August, 2017.
21. *Botezatu M.M., Giurgiu I., Bogojeska J., Wiesmann D.* Predicting disk replacement towards reliable data centers / *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD '16)*. San Francisco, California, USA, 13-17 August, 2016. PP. 39-48.
22. *Chaves I.C., de Paula M.R.P., Leite L.G.M., Queiroz L., Pordeus J.P., Machado J.C.* BaNHFaP: A Bayesian Network Based Failure Prediction Approach for Hard Disk Drives / *Proceedings of the 5th Brazilian Conference on Intelligent Systems (BRACIS 2016)*. Recife, Pernambuco, BR, 9-12 October, 2016. 7839624. PP. 427-432.
23. *Qian J., Skelton S., Moore J., Jiang H.* P3: Priority based proactive prediction for soon-to-fail disks / *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage (NAS 2015)*. Boston, MA, USA, 6-7 August, 2015. 7255224. PP. 81-86.

Искандар Наилович Насыров,

д-р эконом. наук, профессор,

кафедра экономики предприятий

и организаций,

Набережночелнинский институт (филиал)

Казанского (Приволжского) федерального

университета,

Ильдар Искандарович Насыров,

канд. техн. наук, руководитель,

отдел технических систем

и телекоммуникаций,

АО «Автоградбанк»,

г. Набережные Челны,

Рустам Искандарович Насыров,

руководитель проектов,

ООО «Мединдекс»,

г. С.-Петербург,

e-mail: ecoseti@yandex.ru