

# Критерии ранжирования накопителей информации в data-центрах по надежности

И.Н. НАСЫРОВ<sup>I</sup>, И.И. НАСЫРОВ<sup>II</sup>, Р.И. НАСЫРОВ<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань, Россия

<sup>II</sup> ООО «Телеком Интеграция», г. Казань, Россия

<sup>III</sup> ООО «Газпромнефть – Цифровые решения», г. Санкт-Петербург, Россия

**Аннотация.** Подобраны критерии в виде границ диапазонов ранжирования накопителей информации по надежности на основе их распределения по значениям SMART-параметров, представленных в открытом доступе data-центрами компании Backblaze за длительный период. В результате определены следующие критерии: 0 – для точечного диапазона накопителей с нулевыми значениями показателей надежности; 1 – для еще одного точечного диапазона накопителей, у которых хоть один показатель надежности имеет значение, равное единице; 2-8 – для накопителей, у которых значение хоть одного показателя надежности больше одного, но не превышает восьми, т.е. одну дорожку секторов записи/считывания; >8 – полуоткрытый диапазон накопителей со значениями хотя бы одного показателя надежности, превышающего восемь единиц.

**Ключевые слова:** *большие данные, показатель, критерий, накопитель информации, data-центр, надежность, ранжирование.*

**DOI:** 10.14357/20790279230307

## Введение

Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности деятельности data-центров – систем централизованного хранения генерируемых в цифровой экономике больших данных. Для этого надо уменьшить расходы на заменяемые накопители информации и повысить доходы за счет расширения круга клиентов. Соответственно нужно исключить досрочное снятие высоконадежных накопителей, применять накопители со сниженной надежностью для хранения некритической информации по низким ценам, и в конце концов не приобретать накопители с заведомо плохими характеристиками надежности.

Исходя из этого, предлагается использовать сортировку накопителей по риску отказа на базе выявленных универсальных показателей надежности [1]. Термин введен в данной работе для обозначения параметров, имеющих непустые значения и одинаковую интерпретацию для всех моделей накопителей.

Для накопителей на жестких дисках HDD (hard disk drive) это: 1 Read error rate (частота ошибок при чтении данных с диска, происхождение которых обусловлено аппаратной частью диска);

5 Reallocated sectors count (число операций переназначения секторов); 7 Seek error rate (частота ошибок при позиционировании блока магнитных головок); 10 Spin retry count (число повторных попыток раскрутки дисков до рабочей скорости в случае, если первая попытка была неудачной); 196 Reallocation event count (число успешных и неуспешных операций переназначения); 197 Current pending sector count (число секторов, являющихся кандидатами на замену); 198 Uncorrectable sector count (число некорректируемых средствами диска секторов). Указанные параметры характеризуют состояние поверхности дисков (1, 5, 196, 197, 198), магнитных головок (7) и электродвигателя (10).

Для твердотельных накопителей SSD (solid state drive) рассматривались параметры: 177 Wear leveling count (максимальное количество операций стирания, выполняемых для одного блока флэш-памяти или разница между максимально изношенными (больше всего раз записанными) и минимально изношенными (записанными наименьшее число раз) блоками); 198 Uncorrectable sector count (общее количество неисправимых ошибок при чтении/записи сектора); 199 R-errors error count (число оши-

бок при приеме и передаче данных по интерфейсу); 232 Available reserved space (количество оставшихся резервных служебных блоков); 235 Power fail backup health (возможность сохранить данные из кэша в микросхемы флэш после внезапного отключения питания); 241 Lifetime writes from host system (объем записанного за все время жизни накопителя, в гигабайтах); 245 Timed workload media wear (временной износ носителя рабочей нагрузки). Следует отметить, что статистика по SSD-накопителям пока мала и не по всем указанным параметрам она имеется в полном объеме, другими словами, они – не универсальны.

Научной проблемой является отсутствие обоснования для выбора подходящих критериев в виде границ диапазонов ранжирования. Цель исследования состоит в подборе теоретически обоснованных и практически подтвержденных критериев ранжирования накопителей информации в data-центрах по надежности.

## 1. Методы

Информационной базой исследования послужили ежедневно записываемые SMART-данные (self-monitoring, analysis and reporting technology – технология самоконтроля, анализа и отчетности) накопителей, находящиеся в свободном доступе на сайте одной из крупнейших в мире групп коммер-

ческих data-центров компании Backblaze (<https://www.backblaze.com/b2/hard-drive-test-data.html>). Они удовлетворяют всем требованиям для оценки надежности [2], в связи с чем исследователи со всего мира активно используют их в своей работе в самых разных областях [3]. В качестве методов исследования выбраны группировка, сортировка и визуализация распределения по значениям параметров продолжающих функционировать, снятых досрочно и отказавших накопителей информации за период с 10.04.2013 по 30.06.2022. Исходя из имеющегося места различия по торговым маркам распределение по значениям параметров изучалось дифференцированно. Число накопителей рассматривалось в процентах к общему числу по каждой торговой марке отдельно. Использовались «сырые» данные, без нормирования производителями. Отсутствующие данные в расчетах не учитывались.

Сначала подбирались критерии в виде границ диапазонов показателей надежности. Потом производилась группировка продолжающих функционировать, снятых досрочно и отказавших накопителей отдельно согласно этим критериям. Затем сравнивалось количество накопителей в каждой группе.

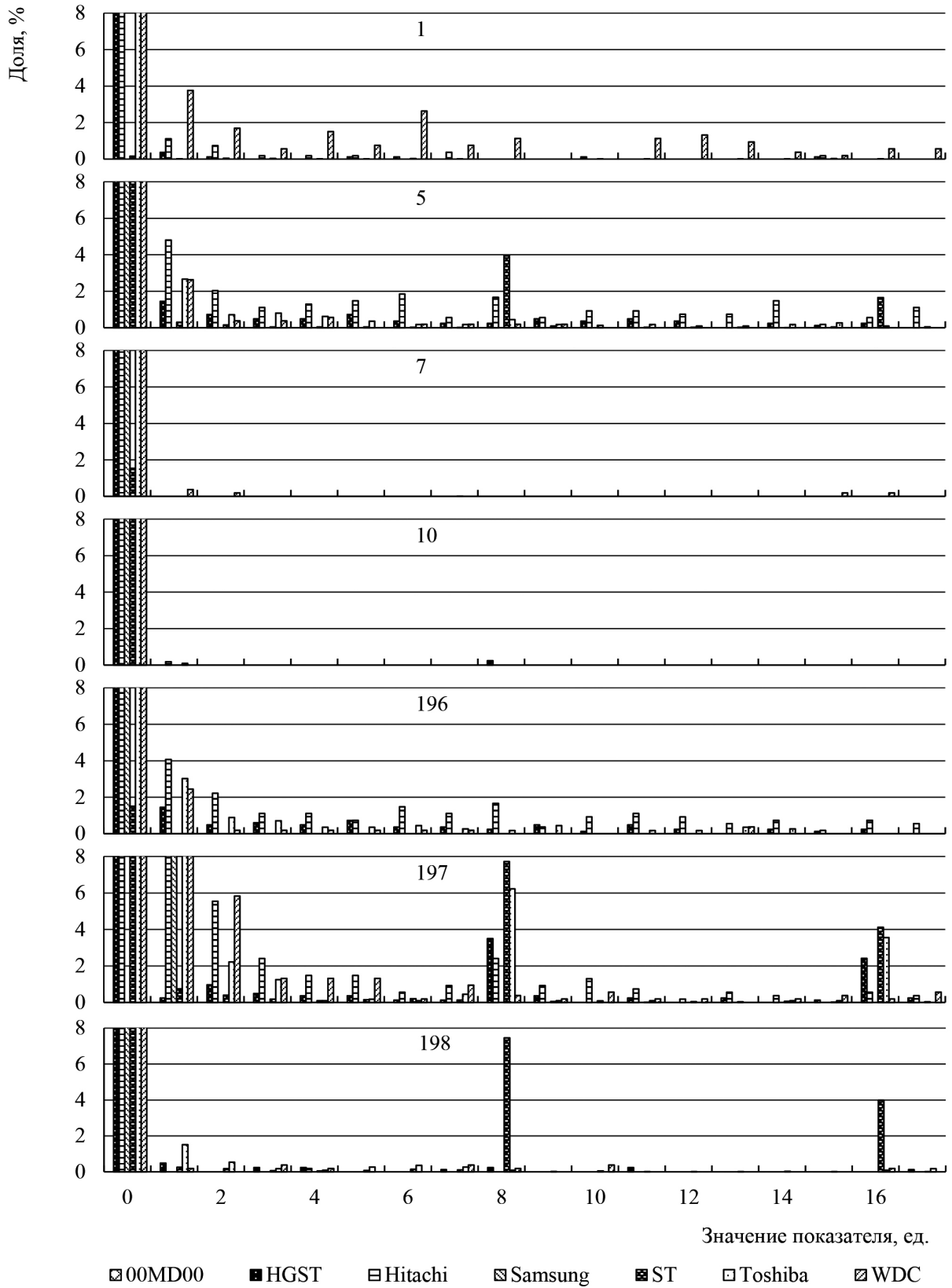
## 2. Результаты

Число продолжающих функционировать, снятых досрочно и отказавших накопителей каждой

**Табл. 1**

Число накопителей в штуках и номера показателей надежности, значения которых есть в наличии

Торговая марка	Всего	Работа	Досрочно	Отказ	Показатели надежности
HDD:					
00MD00	2	0	2	0	1, 7
HGST	53405	44224	8352	829	1, 5, 7, 10, 196, 197, 198
Hitachi	13246	6	12699	541	1, 5, 7, 10, 196, 197, 198
Samsung	18	0	17	1	1, 197
ST	179810	108261	59451	12098	1, 5, 7, 10, 196, 197, 198
Toshiba	53230	51828	277	1125	1, 5, 10, 196, 197, 198
WDC	16419	12608	3279	532	1, 5, 7, 196, 197, 198
<b>Всего</b>	<b>316130</b>	<b>216927</b>	<b>84077</b>	<b>15126</b>	
SSD:					
CT	294	272	21	1	199
DELLBOSS	351	351	0	0	
HP	110	0	2	108	198, 199, 232, 241, 245
MTFDDAV	99	89	1	9	235, 241, 245
Samsung	10	0	0	10	177, 235, 241
Seagate	1828	1804	3	21	177, 232, 235, 241
SSDSCKKB	4	0	4	0	235, 241, 245
<b>Всего</b>	<b>2696</b>	<b>2516</b>	<b>31</b>	<b>149</b>	



**Рис. 1.** Распределение отказавших HDD-накопителей различных торговых марок по значениям показателей надежности в %: 1, 5, 7, 10, 196, 197, 198

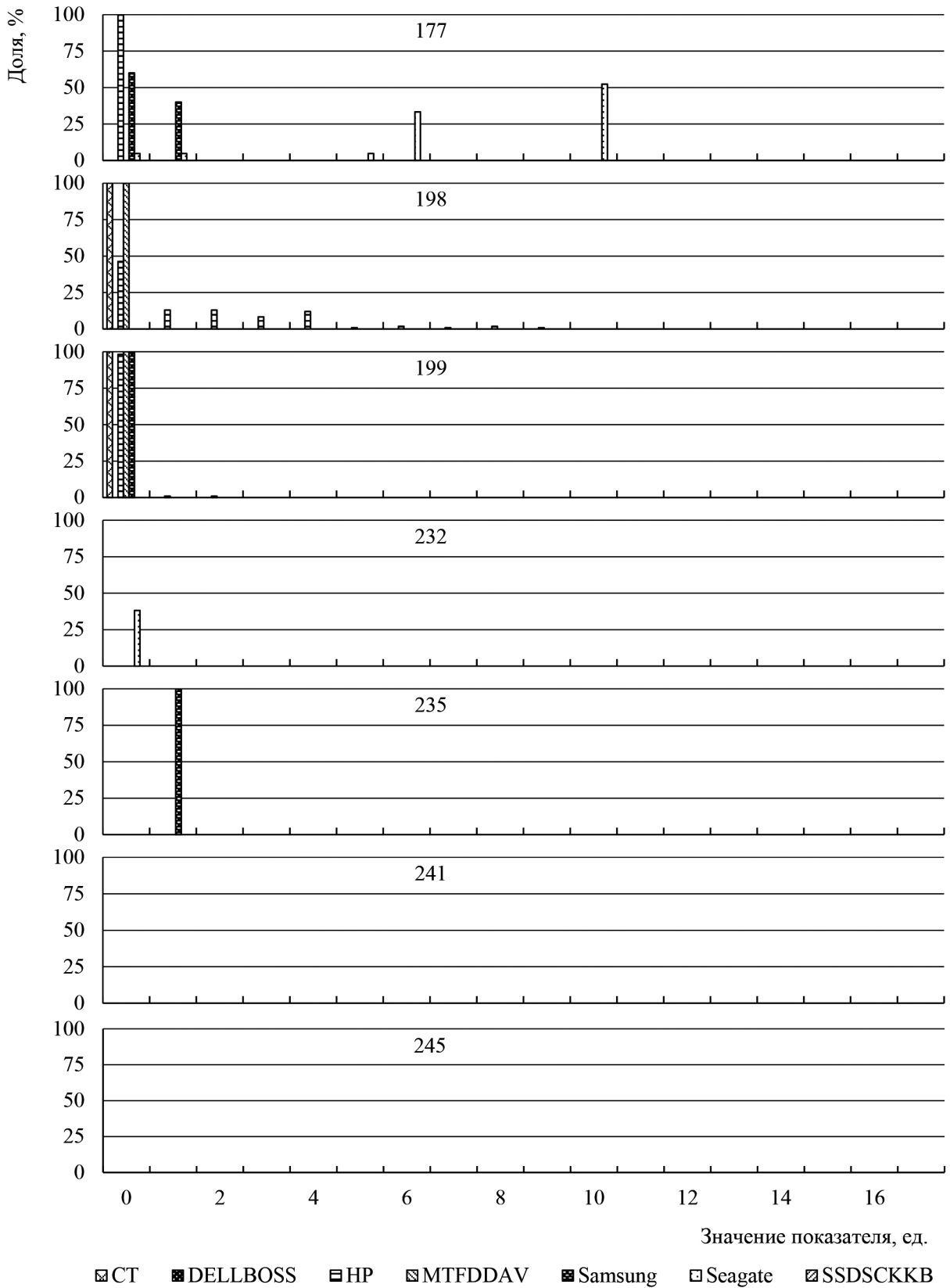


Рис. 2. Распределение отказавших SSD-накопителей различных торговых марок по значениям показателей надежности в %: 177, 198, 199, 232, 235, 241, 245

торговой марки и номера параметров – показателей надежности, значения которых есть в наличии, приведены в табл. 1.

Получено, что в распределении вышедших из строя HDD-накопителей по величине таких показателей надежности, как 5, 197 и 198, имеются особенности, состоящие в повышенном количестве накопителей у значений, кратных 8 – числу секторов на одной дорожке (рис. 1). Необходимо обратить внимание, что для наглядности вертикальная ось усечена. У SSD накопителей таких особенностей нет (рис. 2).

Отказавшие SSD-накопители имеют большие значения по показателям надежности 241 и 245 и поэтому вышли за пределы отображаемого диапазона оси абсцисс.

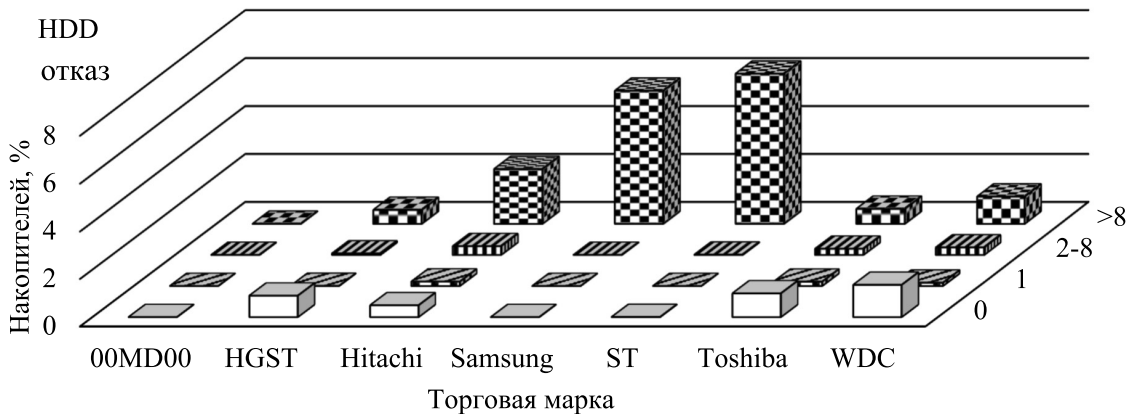
Исходя из приведенных результатов наиболее приемлемыми критериями в виде границ диапазонов являются 0 (большинство отказавших HDD накопителей сосредоточено в указанном точечном диапазоне), 1 (следующий по концентрации

точечный диапазон), 8 (обнаруженный максимум, совпадающий с числом секторов на дорожке, придающий физический смысл для фиксации его в качестве границы диапазона). Остальные границы, в том числе кратные 8, не вводились, чтобы не усложнять систему градации.

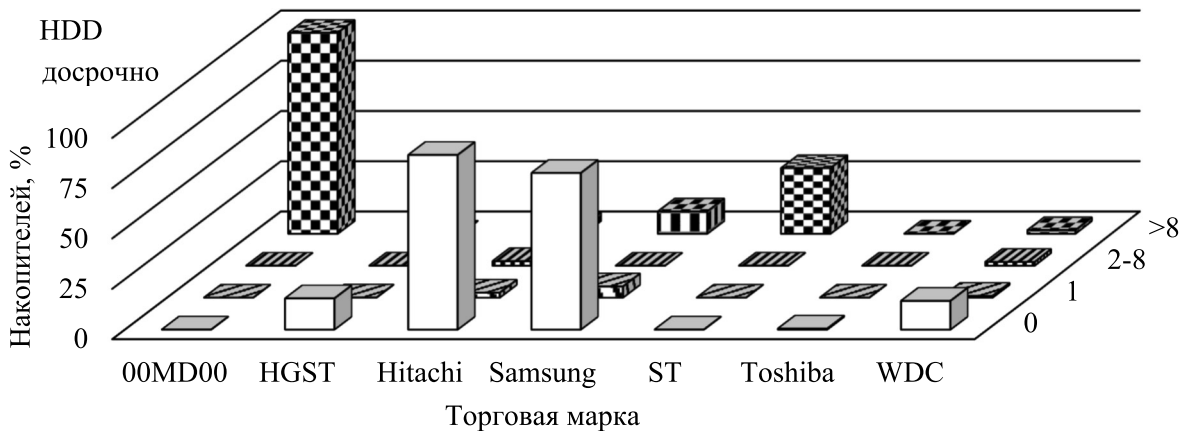
На рис. 3 приведено распределение отказавших, снятых досрочно (рис. 4) и продолжающих функционировать (рис. 5) HDD-накопителей различных торговых марок по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности с номерами 1, 5, 7, 10, 196, 197, 198.

Отсутствие по-настоящему универсальных показателей надежности для SSD-накопителей, т.е. имеющих в наличии для всех торговых марок и одинаково интерпретируемых производителями, обуславливает недостаток каких-либо внятных визуально наблюдаемых общих закономерностей.

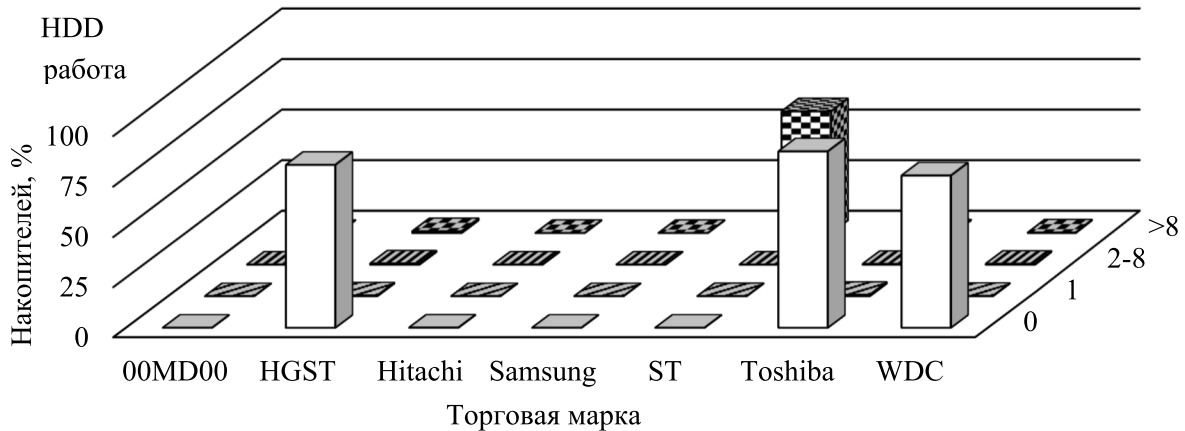
В качестве наглядного примера на рис. 6 приведено распределение отказавших, снятых досрочно



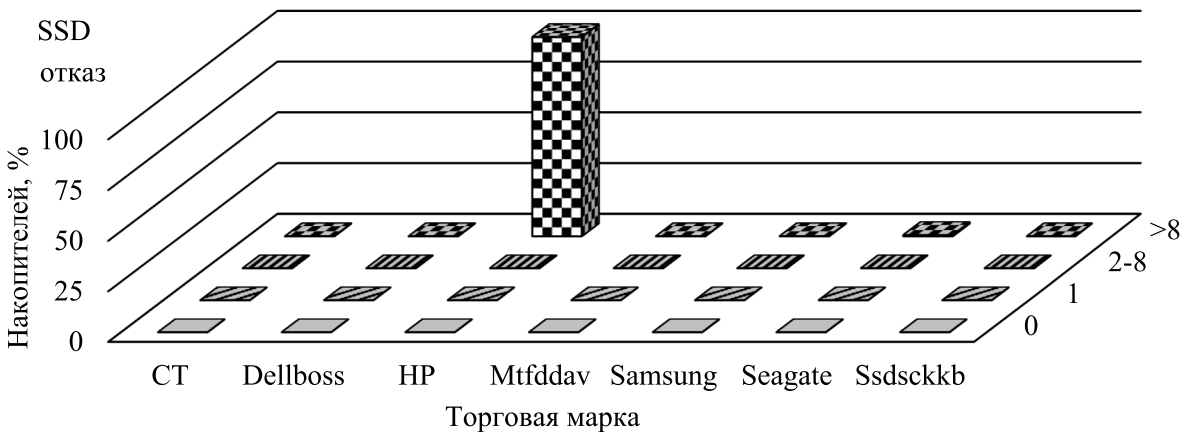
**Рис. 3.** Распределение отказавших HDD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 1, 5, 7, 10, 196, 197, 198



**Рис. 4.** Распределение снятых досрочно HDD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 1, 5, 7, 10, 196, 197, 198



**Рис. 5.** Распределение продолжающих работать HDD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 1, 5, 7, 10, 196, 197, 198



**Рис. 6.** Распределение отказавших SSD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 177, 198, 199, 232, 235, 241, 245

(рис. 7) и продолжающих функционировать (рис. 8) SSD-накопителей различных торговых марок по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности с номерами 177, 198, 199, 232, 235, 241, 245.

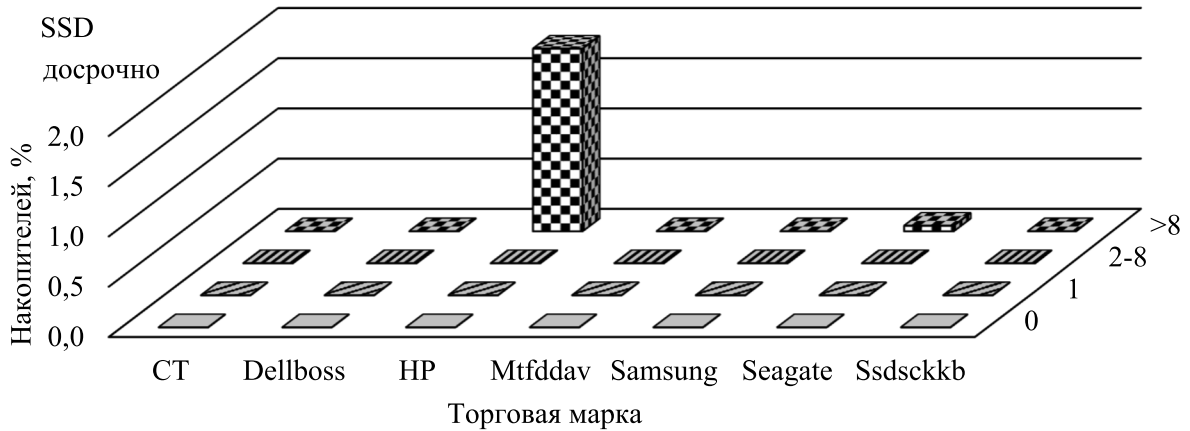
Пустые значения показателей надежности, не учтенные при анализе данных, составили 1,98% от полного числа HDD накопителей и 57,20% от полного числа SSD накопителей. Если для HDD точность вполне приемлемая, то для SSD нужны дополнительные исследования по мере накопления данных по надежности.

### 3. Обсуждение и выводы

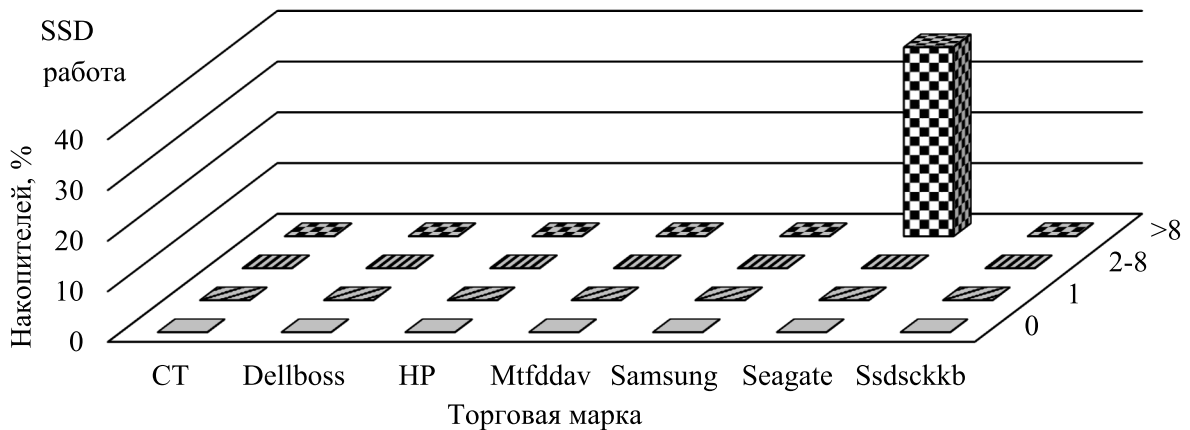
Информация и знания превратились в стратегические ресурсы современной экономической системы, в результате чего можно наблюдать сужение материального производства при одновременном

стремительном росте «информационной индустрии» [4]. Для хранения информации используются HDD и SSD-накопители большой емкости. При этом существует риск значительных экономических потерь вследствие выхода их из строя. Для диагностики состояния накопителей предлагается классифицировать их на основе показателей надежности на две или три группы [5,6]. Однако подобные классификации ограничены в использовании только для конкретных частных случаев.

Многие производители оборудования с 2007 года рекомендуют не использовать массивы RAID5 (Redundant Array of Independent Disks – избыточный массив независимых дисков) при создании отказоустойчивых систем хранения данных, а вместо них применять RAID6 [7]. Методы диагностики неисправностей основаны на важном предположении, что показатели надежности разных накопите-



**Рис. 7.** Распределение снятых досрочно SSD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 177, 198, 199, 232, 235, 241, 245



**Рис. 8.** Распределение продолжающих работать SSD-накопителей по диапазонам 0, 1, 2-8, >8 значений показателей надежности в %: 177, 198, 199, 232, 235, 241, 245

лей подлежат одинаковому распределению, хотя в реальности они различные у разных производителей [8]. Исходя из этого представленное исследование обладает научной новизной, заключающейся в получении теоретического обоснования и практического подтверждения критериев, отличающихся наличием физического смысла границ диапазонов показателей, позволяющих единообразно ранжировать накопители информации по надежности для всех моделей любых производителей.

Визуализация распределения накопителей по значениям показателей надежности позволяет сделать следующие, вполне определенные выводы.

Во-первых, хотя точечный диапазон 0 и ранее выбирался исследователями как основной [9], но следующие критерии в виде границ уже не были такими однозначными. Мы брали их из соображений эргономики, чтобы распределение накопите-

лей по диапазонам было более-менее равномерным [10]. Однако, как видно из рис. 1, в представленном распределении HDD накопителей есть следующие по интенсивности скопления в точечном диапазоне 1 и хорошо наблюдаемые максимумы у значений, кратных 8 – числу секторов на дорожке. Соответственно у SSD-накопителей (рис. 2) подобных максимумов нет, т.к. нет движущихся частей. Следовательно, для HDD-накопителей такие критерии в виде границ диапазонов ранжирования по надежности являются вполне обоснованными.

Во-вторых, малое количество данных и отсутствие выявленных по-настоящему универсальных показателей надежности для SSD-накопителей не позволяют проводить полноценный анализ. Поэтому на этом этапе исследований будем пока придерживаться тех же критериев в виде границ диапазонов, что и для HDD-накопителей.

В-третьих, для отказавших HDD-накопителей (рис. 3) наблюдается относительно низкое их число с нулевыми показателями надежности и плавное увеличение их числа с ростом этих значений. Так теоретически и должно быть, что подтверждает, что критерии для диапазонов ранжирования оказались очень даже приемлемыми для анализа. В связи с тем, что относительная доля отказавших накопителей мала, то масштаб по оси ординат показан растянутым.

В-четвертых, в HDD-накопителях, снятых с эксплуатации досрочно (рис. 4), у некоторых торговых марок их доля с нулевыми значениями показателей надежности весьма заметна (HGST, Hitachi, Samsung, WDC). То есть вполне надежные накопители, которые и дальше могли бы успешно работать, заменяются. Очевидно, что такие накопители являются первоочередным резервом для повышения эффективности деятельности data-центров за счет снижения потребности в заменах.

В-пятых, у накопителей торговой марки ST, хотя относительная доля с опасно высокими значениями показателей надежности превалирует, однако они продолжают эксплуатироваться (рис. 5). Понятно, что это может быть вынужденной мерой. В таком случае предлагаем на них размещать некритическую информацию и соответственно брать за это меньшую плату. Это позволит уменьшить ущерб от возможной потери данных и одновременно расширить круг пользователей за счет низкой цены за услуги хранения.

В-шестых, анализ значений показателей надежности HDD-накопителей торговой марки ST показывает, что основные ошибки наблюдаются по показателю 7 Seek error rate (частота ошибок при позиционировании блока магнитных головок). Ясно, что причиной этого является их конструктивный недостаток. В таком случае надо воздержаться от приобретения накопителей указанной торговой марки, чтобы избежать возможного экономического ущерба.

В-седьмых, если по SSD-накопителям торговых марок HP и Seagate показатели надежности достаточно заметно отображают те из них, которые вышли из строя (рис. 6), сняты с эксплуатации досрочно (рис. 7), продолжающие работать (рис. 8), то по другим маркам этого нет. Но главная неприятность состоит в том, что среди работающих нет накопителей, у которых значения всех показателей были бы нулевыми. Это означает, что или сами показатели надежности для SSD-накопителей подобраны неправильно или надо еще каким-то образом учитывать и пустые значения. А скорее всего по мере набора статистики в перспективе надо сделать и то и другое.

В итоге можно сделать общий вывод о существовании набора мероприятий, пригодных для практического применения в качестве инструментов по повышению эффективности деятельности data-центров.

## Заключение

В результате исследования выявлены три инструмента по повышению эффективности деятельности data-центров:

- 1) для снижения потребности в заменах не снимать досрочно, а оставлять для дальнейшей эксплуатации накопители с нулевыми значениями показателей надежности: количественная экономия в рассматриваемом конкретном случае составит 7,1% для HDD и 0,7% для SSD от общего числа;
- 2) для уменьшения риска потери данных и одновременного расширения круга пользователей за счет низкой цены за услуги хранения размещать на накопителях с ненулевыми значениями показателей надежности некритическую информацию: прибыль зависит от стоимости накопителей;
- 3) для предотвращения возможного экономического ущерба воздержаться от приобретения накопителей определенных торговых марок, у которых обнаружены конструктивные недостатки: среди продолжающих работать накопителей доля таковых от общего числа составляет 34,4% для HDD и 70,2% для SSD.

При этом для SSD-накопителей требуются дополнительные исследования.

## Литература

1. *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, Is. 2 Special Issue. P. 2248-2254. [https://kpfu.ru/staff\\_files/F810852973/Parameters\\_Selection\\_for\\_Information\\_Storage\\_Reliability\\_Assessment\\_and\\_Prediction\\_by\\_Abs\\_Val.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F810852973/Parameters_Selection_for_Information_Storage_Reliability_Assessment_and_Prediction_by_Abs_Val.pdf).
2. *Diallo M.S., Mokeddem S.A., Braud A., Frey G., Lachiche N.* Identifying benchmarks for failure prediction in industry 4.0 // *Informatics*. 2021. 8 (4). P. 68. <https://doi.org/10.3390/informatics8040068>.
3. *Насыров И.Н., Насыров И.И., Насыров Р.И.* Большие данные по надежности накопителей информации в data-центрах // *Цифровая экономика*. 2022. № 2 (18). С. 33-37. <https://doi.org/10.34706/DE-2022-02-04>.
4. *Асташова Н.Д., Бобкова Т.В.* «Неэкономические» модели цифровой экономики // *Вестник*



- Томского гос. ун-та. 2021. № 470. С. 72-79. <https://doi.org/10.17223/15617793/470/8>.
5. Демидова Л.А., Филатов А.В. Разработка модели классификации состояния жестких дисков на основе LSTM-нейронных сетей // Высокопроизводительные вычислительные системы и технологии. 2021. Т. 5. № 1. С. 37-42. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592613>.
  6. Filatov A., Demidova L. Application of Recurrent Networks to Develop Models for Hard Disk State Classification // Communications in Computer and Information Science. 2022. Vol. 1526. P. 380-390. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94141-3\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94141-3_30).
  7. Bezrukov I.A., Salnikov A.I., Yakovlev V.A., Vylegzhanin A.V. An Analysis of the Reliability of a Software Failure-Safe Array in the Organization of Long-Term Storage of Radio Interferometry Data with Ultra-Long Bases // Instruments and Experimental Techniques. 2022. Vol. 65. P. 232-237. <https://doi.org/10.1134/S0020441222020105>.
  8. Chang Shi, Zhenyu Wu, Xiaomeng Lv, Yang Ji. DGTL-Net: A Deep Generative Transfer Learning Network for Fault Diagnostics on New Hard Disks // Expert Systems with Applications. 2021. Vol. 169. 114379. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114379>.
  9. 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. P. 17-28. [https://www.usenix.org/legacy/events/fast07/tech/full\\_papers/pinheiro/pinheiro.pdf](https://www.usenix.org/legacy/events/fast07/tech/full_papers/pinheiro/pinheiro.pdf).
  10. Насыров Р.И. Критерии и показатели ранжирования накопителей информации по степени надежности // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2016. № 10 (148). С. 30-35. <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.10.P.030-035>.

**Насыров Искандар Наилович.** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет», г. Казань. Профессор, доктор экономических наук. Область научных интересов: налогообложение предпринимательской деятельности, надежность накопителей информации. E-mail: [ecoseti@yandex.ru](mailto:ecoseti@yandex.ru) (Ответственный за переписку).

**Насыров Ильдар Искандарович.** ООО «Телеком Интеграция», г. Казань. Ведущий сервис-менеджер. Кандидат технических наук. Область научных интересов: информационная безопасность, надежность накопителей информации. E-mail: [ildarec@mail.ru](mailto:ildarec@mail.ru)

**Насыров Рустам Искандарович.** ООО «Газпромнефть – Цифровые решения», г. Санкт-Петербург. Руководитель портфеля проектов. Область научных интересов: информационные системы, надежность накопителей информации. E-mail: [rinasyrova@gmail.com](mailto:rinasyrova@gmail.com)

### Criteria for ranking information storage devices in data centers by reliability

I.N. Nasyrov<sup>I</sup>, I.I. Nasyrov<sup>II</sup>, R.I. Nasyrov<sup>III</sup>

<sup>I</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia

<sup>II</sup> Telecom Integration LLC, Kazan, Russia

<sup>III</sup> Gazpromneft – Digital Solutions LLC, St. Petersburg, Russia

**Abstract.** Criteria have been selected in the form of ranges boundaries for ranking information storage devices by reliability based on their distribution by SMART parameters values presented in the public domain by Backblaze data centers over a long period. As a result, the following criteria were determined: 0 – for a point range of drives with zero values of reliability indicators; 1 – for another point range of drives with at least one reliability indicator having a value equal to one; 2-8 – for drives whose value of at least one reliability indicator is greater than one, but does not exceed eight, i.e. one track of write/read sectors; >8 – a semi-open range of drives with values of at least one reliability indicator exceeding eight units.

**Keywords:** *big data, indicator, criterion, information storage, data center, reliability, ranking.*

**DOI:** [10.14357/20790279230307](https://doi.org/10.14357/20790279230307)

## References

1. *Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I., Khairullin B.A.* 2018. Parameters selection for information storage reliability assessment and prediction by absolute values. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*. 10(2 Special Issue):2248–2254. [https://kpfu.ru/staff\\_files/F810852973/Parameters\\_Selection\\_for\\_Information\\_Storage\\_Reliability\\_Assessment\\_and\\_Prediction\\_by\\_Abs\\_Val.pdf](https://kpfu.ru/staff_files/F810852973/Parameters_Selection_for_Information_Storage_Reliability_Assessment_and_Prediction_by_Abs_Val.pdf)
2. *Diallo M.S., Mokeddem S.A., Braud A., Frey G., Lachiche N.* 2021. Identifying benchmarks for failure prediction in industry 4.0. *Informatics*. 8(4):68. <https://doi.org/10.3390/informatics8040068>
3. *Nasyrov I.N., Nasyrov I.I., Nasyrov R.I.* 2022. Bol'shie dannye po nadezhnosti nakopitelej informacii v data-centrah [Big data on storage devices reliability in data centers] // *Cifrovaya ehkonomika [Digital Economy]*. 2(18):33–37. <https://doi.org/10.34706/DE-2022-02-04>
4. *Astashova N.D., Bobkova T.V.* 2021. «Neehkonomicheskie» modeli cifrovoj ehkonomiki [“Non-Classical” Models of the Digital Economy]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta [Tomsk State University Journal]*. 470:72–79. <https://doi.org/10.17223/15617793/470/8>
5. *Demidova L.A., Filatov A.V.* 2021. Razrabotka modeli klassifikacii sostoyaniya zhestkikh diskov na osnove LSTM-nejronnykh setej [Development of a hard disk state classification model based on the LSTM architecture of recurrent neural networks]. *Vysokoproizvoditel'nye vychislitel'nye sistemy i tekhnologii [High-performance Computing Systems and Technologies]*. 5(1):37–42. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592613>
6. *Filatov A., Demidova L.* 2022. Application of Recurrent Networks to Develop Models for Hard Disk State Classification. *Communications in Computer and Information Science*. 1526:380–390. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-94141-3\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-030-94141-3_30)
7. *Bezrukov I.A., Salnikov A.I., Yakovlev V.A., Vylegzhanin A.V.* 2022. An Analysis of the Reliability of a Software Failure-Safe Array in the Organization of Long-Term Storage of Radio Interferometry Data with Ultra-Long Bases. *Instruments and Experimental Techniques*. 65:232–237. <https://doi.org/10.1134/S0020441222020105>
8. *Chang Shi, Zhenyu Wu, Xiaomeng Lv, Yang Ji.* 2021. DGTL-Net: A Deep Generative Transfer Learning Network for Fault Diagnostics on New Hard Disks. *Expert Systems with Applications*. 169. 114379. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114379>
9. *Pinheiro E., Weber W.D., Barroso L.A.* 2007. Failure trends in a large disk drive population. *5th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST'07) Proceedings*. San Jose, California, USA, 13-16 February 2007. 17–28. [https://www.usenix.org/legacy/events/fast07/tech/full\\_papers/pinheiro/pinheiro.pdf](https://www.usenix.org/legacy/events/fast07/tech/full_papers/pinheiro/pinheiro.pdf)
10. *Nasyrov R.I.* 2016. Kriterii i pokazateli ranzhirovaniya nakopitelej informacii po stepeni nadezhnosti [Criteria and Indicators for Ranking the Data Storage Devices According to the Degree of Reliability]. *Vestnik komp'yuternykh i informacionnykh tekhnologij [Herald of Computer and Information Technologies]*. 10(148):30–35. <https://doi.org/10.14489/vkit.2016.10.pp.030-035>

**Nasyrov I.N.** Doctor of Economics, associate professor, Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremlevskaya str., Kazan, 420008, Republic of Tatarstan, Russia. E-mail: [ecoseti@yandex.ru](mailto:ecoseti@yandex.ru)

**Nasyrov I.I.** Candidate of Technical Sciences, Telecom Integration LLC, 60 Podluzhnaya str., Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russia. E-mail: [ildarec@mail.ru](mailto:ildarec@mail.ru)

**Nasyrov R.I.** Gazpromneft – Digital Solutions LLC, 5 Kievskaya str., St. Petersburg, 190013, Russia. E-mail: [rinasyrov@gmail.com](mailto:rinasyrov@gmail.com)