

Научная статья

УДК 681.5:614.84:004.056; DOI: 10.61260/2304-0130-2025-3-55-61

ПРЕВЕНТИВНАЯ ПАРКОВКА ГОЛОВОК HDD КАК МЕТОД ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТИ ДАННЫХ ПРИ СРАБАТЫВАНИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ В СЕРВЕРНЫХ

✉ Ахунова Дарья Геннадьевна

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ shurakova.darya@bk.ru

Аннотация. Рассматривается проблема повреждения накопителей на жестких магнитных дисках в серверных помещениях дата-центров, вызванная интенсивным акустическим воздействием при срабатывании систем автоматического газового пожаротушения и звуковой сигнализации. Уровень шума, достигающий 130 дБ, генерирует вибрации, приводящие к физическим повреждениям дисков (появлению «битых» секторов) или программному отключению устройств контроллерами из-за резонансных явлений. Предлагается инновационный метод защиты данных, основанный на превентивной, синхронизированной со срабатыванием системы пожаротушения, принудительной парковке считывающих/записывающих головок жестких магнитных дисков в безопасную зону. Рассматриваются три технических варианта реализации метода, основанных на программном управлении жесткими магнитными дисками или контроллерами источников бесперебойного питания. Проведен сравнительный анализ предлагаемого метода с шестью альтернативными подходами (повышение ударной стойкости жестких магнитных дисков, модификация форсунок, акустическая настройка и др.) по критериям результативности (R), временных (T) и финансовых (E) затрат. Анализ показывает, что предложенный метод обладает максимальной результативностью и минимальной стоимостью реализации, что делает его наиболее целесообразным решением для обеспечения целостности критически важных данных.

Ключевые слова: целостность данных, жесткий диск, серверная, система автоматического пожаротушения, акустическая вибрация, парковка головок, дата-центр, резонанс, источник бесперебойного питания

Для цитирования: Ахунова Д.Г. Превентивная парковка головок HDD как метод обеспечения целостности данных при срабатывании систем автоматического пожаротушения в серверных // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2025. № 3 (55). С. 55-61. DOI: 10.61260/2304-0130-2025-3-55-61.

Scientific article

PREVENTIVE PARKING OF HDD HEADS AS A METHOD OF ENSURING DATA INTEGRITY WHEN AUTOMATIC FIRE EXTINGUISHING SYSTEMS ARE ACTIVATED IN SERVER ROOMS

✉ Akhunova Daria G.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ shurakova.darya@bk.ru

Abstract. The article discusses the problem of damage to hard magnetic disk drives in the server rooms of data centers caused by intense acoustic effects when automatic gas fire extinguishing and sound alarm systems are activated.

The noise level, reaching 130 dB, generates vibrations that lead to physical damage to the disks (the appearance of «dead» sectors) or the software shutdown of devices by controllers due to resonant phenomena. An innovative method of data protection is proposed, based on preventive, synchronized with the operation of the fire extinguishing system, forced parking of the hard disk drive read/write heads in a safe zone. Three technical variations are considered.

Keywords: data integrity, hard disk drive, server room, automatic fire extinguishing system, acoustic vibration, head parking, data center, resonance, uninterruptible power supply

For citation: Akhunova D.G Preventive parking of hdd heads as a method of ensuring data integrity when automatic fire extinguishing systems are activated in server rooms // Prirodnye i tekhnogennye riski (fiziko-matematicheskie i prikladnye aspekty) = Natural and man-made risks (physico-mathematical and applied aspects). 2025. № 3 (55). P. 55–61. DOI: 10.61260/2307-7476-2025-3-55-61.

Введение

Современные дата-центры, являющиеся ключевыми узлами цифровой инфраструктуры, оснащаются сложными системами автоматического пожаротушения (САП), использующими инертные газы. Несмотря на то, что такие газы химически безопасны для электроники, их высвобождение из баллонов под высоким давлением через форсунки сопровождается интенсивным акустическим шумом, уровень которого может достигать 130 дБ. Дополнительный шумовой фон создается системами звуковой сигнализации и оповещения. Данное физическое воздействие представляет серьезную, хотя и неочевидную, угрозу для оборудования, в частности, для накопителей на жестких магнитных дисках (HDD), которые остаются востребованными для хранения больших объемов данных.

Эмпирические данные и инциденты в дата-центрах банков подтверждают, что акустические вибрации могут вызывать механические повреждения поверхности дисков или провоцировать срабатывание защитных механизмов контроллеров HDD, что приводит к их отключению и потере доступности данных. Более того, в эпоху «Интернета вещей» подобные системы становятся потенциальной мишенью для кибератак, направленных на инициирование ложного срабатывания и последующее повреждение оборудования.

Целью данной статьи является предложение и обоснование эффективного, малозатратного метода обеспечения целостности данных на HDD в условиях воздействия акустических вибраций от САП.

Результаты исследования и обсуждение

Основной механизм повреждения HDD заключается в том, что акустические волны вызывают вибрацию дискового шпинделя и блока головок. Это может привести к двум критическим сценариям:

1. Механическое повреждение: головки чтения/записи ударяются о поверхность магнитного носителя, что приводит к появлению нечитаемых секторов.
2. Резонансное отключение: если частота звука (например, сирены) совпадает с резонансной частотой компонентов HDD, контроллер устройства фиксирует сбой и аварийно отключает диск для предотвращения дальнейшего повреждения, что также ведет к потере доступности данных.

Для нейтрализации этой угрозы предлагается использовать встроенный в архитектуру HDD механизм «парковки головок». При парковке контроллер устройства перемещает головки в специально отведенную «безопасную зону» (landing zone), которая не используется для хранения данных. В этом положении головки физически не контактируют с рабочей поверхностью диска, что полностью исключает риск их повреждения от вибраций.

Ключевая инновация заключается в превентивной и синхронизированной активации этого механизма. Предлагается, чтобы команда на парковку головок выдавалась всем HDD в серверной до того, как система пожаротушения будет приведена в действие. Для этого

в программное обеспечение контроллера САП вносится временная задержка (n секунд) между обнаружением пожара и физическим срабатыванием форсунок/сирен. В течение этой задержки и осуществляется команда на парковку.

Пути технической реализации:

Существует несколько технических путей для инициации превентивной парковки, каждый из которых имеет свои особенности:

Вариант 1: программная команда на перевод в режим сна.

Контроллер САП отправляет централизованную команду операционной системе или специализированному программному обеспечению, которое, в свою очередь, инициирует переход всех HDD в режим энергосбережения (sleep mode), при котором головки автоматически паркуются. Этот метод является наиболее «мягким» и программно управляемым.

Вариант 2: программная команда на принудительное отключение HDD.

Аналогично первому варианту, но команда направлена на полное программное отключение накопителей. Контроллер HDD также выполнит парковку головок как часть процедуры корректного завершения работы.

Вариант 3: принудительное отключение электропитания через источники бесперебойного питания.

Контроллер САП отправляет команду на централизованное отключение выходного напряжения всех источников бесперебойного питания ИБП, питающих серверные стойки. Контроллеры HDD интерпретируют это, как аварийное отключение питания и используют накопленную энергию (от конденсатора или пружинного механизма) для экстренной парковки головок. Этот метод наиболее надежен, так как не зависит от работоспособности операционной системы сервера, но требует вмешательства в систему электропитания.

Все три варианта являются технически реализуемыми и требуют в первую очередь модификации программного обеспечения контроллера САП и, в зависимости от выбранного пути, написания скриптов или перепрограммирования контроллеров HDD/ИБП.

Оценка эффективности и затрат

Для объективной оценки предлагаемого метода он был сравнен с шестью альтернативными подходами, направленными на снижение уровня шума или повышение стойкости оборудования:

1. Повышение ударной стойкости HDD.
2. «Размножение» сопел (форсунок).
3. Акустическая настройка Системы.
4. Равномерное распределение сопел по объему серверной.
5. Экранирование серверов.
6. Снижение интенсивности подачи газа.

Оценка проводилась по трем ключевым критериям:

R (Результативность): гарантированность обеспечения целостности данных.

T (Временные затраты): время, необходимое для реализации решения.

E (Финансовые затраты): материальные и финансовые ресурсы, требуемые для внедрения.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице.

Таблица

**Сравнительная оценка эффективности методов защиты
HDD от акустических вибраций.**

Способ_N	R (↑)	T (↓)	E (↓)	Примечание
Способ_1	med	med	max	В последнее время производители накопителей разработали целый ряд недорогих и достаточно эффективных технологических решений по повышению ударной стойкости. Однако замена существующего парка HDD на более стойкие потребует гигантских финансовых затрат, не говоря о сложности их закупки в условиях санкций
Способ_2	med	max	max	Согласно тестам, два небольших сопла, несущие половину газового потока, производят меньше шума и меньше влияют на жесткие диски, чем одно большое сопло. Поэтому «размножение» сопел (форсунок) однозначно снижает деструктивное акусто-вибрационное воздействие на HDD. Однако «размножение» как способ, является затратным
Способ_3	min	med	med	Влияние на уровень шума оказывает и конструкция форсунки. Она может воспроизводить как звуки чистой тональности (свист), которые оказывают разрушительное влияние на винчестеры, так и менее разрушительный широкополосный шум (подобный звуку ветра). Однако каждая модель HDD имеет индивидуальную спектральную чувствительность и набор частот деструктивного шума. В случае использования в дата-центре нескольких моделей HDD (что и встречается на практике), решение задачи акустической настройки Системы представляется сверхсложным
Способ_4	med	max	max	Влияние на работоспособность конкретного HDD от количества шума, который его достигает. Равномерное распределение сопел по периметру/объему серверной призвано выровнять «шумовой рельеф». Проблема заключается в том, что реализация системы может отличаться друг от друга. Также каждый дата-центр может быть не похож на другой, как акустикой, так и расположением оборудования (HDD). То есть, реализация способа однозначно привязана к паре «Система–серверная», что не позволяет ее тиражировать
Способ_5	med	max	max	Способ снижает деструктивное воздействие акустического шума, но не гарантирует его нейтрализацию. Затратный по всем измерениям (время – деньги) и при всех вариациях реализации: шумоизоляция серверов, установка звукопоглощающих экранов, использование акустических чехлов и специальных боксов для HDD и др.
Способ_6	med	med-min	med-min	Снижение интенсивности подачи газа возможно до предела, установленного требованиями п. 9.7.4 «Свода правил...» (приказ МЧС от 31 августа 2020 г. № 628 [6]), то есть не менее 10, 15 и 60 с – для различных установок и применяемого газа.

Способ_N	R (↑)	T (↓)	E (↓)	Примечание
				Потребуется дополнительные исследования для установления пороговых значений в каждой конкретной (с привязкой к серверной) реализации Системы
Предлагаемый способ	max	med	min	Отключение электропитания гарантированно обеспечивает целостность данных. Время на реализацию проекта оценивается не более месяца. Затратность описана выше в п. 7

Как видно из таблицы, предложенный метод превентивной парковки головок HDD демонстрирует наивысшую результативность (max), обеспечивая абсолютную гарантию сохранности данных за счет их физической изоляции от источника вибрации. При этом он является наименее затратным (min) по финансовым ресурсам, поскольку основывается на программной модификации существующих систем, а не на закупке нового оборудования или реконструкции инфраструктуры. Временные затраты (med) также находятся на приемлемом уровне.

Заключение

Внедрение предложенного метода позволит полностью исключить риск повреждения данных на HDD, вызванного срабатыванием систем автоматического пожаротушения и оповещения. Основным компромиссом является временная (на десятки секунд) недоступность данных на период работы системы, что является допустимой платой за их гарантированную целостность.

Таким образом, метод превентивной парковки головок HDD позиционируется как наиболее эффективное, быстро реализуемое и экономически целесообразное решение проблемы акустического воздействия в серверных. Его простота и программная природа делают его легко тиражируемым и применимым в дата-центрах любого масштаба и конфигурации. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию программных интерфейсов для взаимодействия между контроллерами САП, ИБП и HDD различных производителей.

Список источников

1. Ханис Н.А. Метод прогнозирования возникновения пожароопасной ситуации в дата-центре // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы: материалы докладов III регион. заочной науч.-практ. конф. Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. С. 130–132.
2. Трещев И.А., Григорьев Я.Ю. Обеспечение информационной безопасности в распределенных информационных системах на удаленных рабочих местах // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2019. С. 309–312.
3. Добродеев А.Ю. К вопросу моделирования угроз информационной безопасности и разработки требований обеспечения информационной безопасности сети связи общего пользования // Теория систем: сб. науч. трудов кафедры прикладной математики и программирования по итогам работы постоянно действующего семинара. М.: Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, 2021. С. 110–129.
4. Ляхомская О.В. Современные методы прогнозирования опасных факторов пожара // Инновационное реформирование экономики и общества в условиях глобальной

нестабильности: материалы Междунар. науч.-практич. конф. Саратов: Институт исследований и развития профессиональных компетенций, 2015. С. 125–127.

5. Дамарад К.Б., Кичкайло А.А. Роль дата-центров в банковской системе // Современные проблемы и перспективы развития банковского сектора России: материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Тамбов: Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина, 2017. С. 150–155.

6. Об утверждении свода правил «Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования»: приказ МЧС России от 31 авг. 2020 г. № 628. Доступ из информ.-правового портала «КонсультантПлюс».

7. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Safety and Health Topics: Noise. URL: <https://www.osha.gov/noise> (дата обращения: 25.06.2025).

8. Acoustic Noise in Data Centers: The Hidden Foe of HDD Reliability / A. Bhagat [et al.] // Proceedings of the 2020 IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST). 2020. P. 1–12.

9. The Register. Fire alarm triggers data centre hard disk crash. 2017. URL: https://www.theregister.com/2017/11/07/fire_alarm_triggers_data_centre_hard_disk_crash/ (дата обращения: 20.06.2025).

10. Cerrudo C., Apa. Hacking Chemical Plants for Competition and Extortion // Presentation at Black Hat USA. 2015. URL: <https://www.blackhat.com/docs/us-15/materials/us-15-Cerrudo-Hacking-Chemical-Plants-For-Competition-And-Extortion-wp.pdf> (дата обращения: 22.09.2025).

11. Western Digital. White Paper: Airborne Acoustics Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology. 2018.

12. Anderson D. Hard Disk Drive Specification // Seagate Technology. 2012. URL: <https://www.seagate.com/files/staticfiles/docs/pdf/whitepaper/tp561-hard-drive-specifications-en-us.pdf> (дата обращения: 22.06.2025).

References

1. Hanis N.A. Metod prognozirovaniya vozniknoveniya pozharoopasnoj situacii v data-centre // Intellektual'nye informacionnye sistemy: tendencii, problemy, perspektivy: materialy dokladov III region. zaochnoj nauch.-prakt. konf. Kursk: Zakrytoe akcionernoe obshchestvo «Universitetskaya kniga», 2015. S. 130–132.

2. Treshchev I.A., Grigor'ev YA.YU. Obespechenie informacionnoj bezopasnosti v raspredelennyh informacionnyh sistemah na udalennyh rabochih mestah // Proizvodstvennye tekhnologii budushchego: ot sozdaniya k vnedreniyu: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Komsomol'sk-na-Amure: Komsomol'skij-na-Amure gosudarstvennyj universitet, 2019. S. 309–312.

3. Dobrodeev A.YU. K voprosu modelirovaniya ugroz informacionnoj bezopasnosti i razrabotki trebovanij obespecheniya informacionnoj bezopasnosti seti svyazi obshchego pol'zovaniya // Teoriya sistem: sb. nauch. trudov kafedry prikladnoj matematiki i programmirovaniya po itogam raboty postoyanno dejstvuyushchego seminar. M.: Rossijskij gosudarstvennyj universitet imeni A.N. Kosygina, 2021. S. 110–129.

4. Lyahomskaya O.V. Sovremennye metody prognozirovaniya opasnyh faktorov pozhara // Innovacionnoe reformirovanie ekonomiki i obshchestva v usloviyah global'noj nestabil'nosti: materialy Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. Saratov: Institut issledovanij i razvitiya professional'nyh kompetencij, 2015. S. 125–127.

5. Damarad K.B., Kichkajlo A.A. Rol' data-centrov v bankovskoj sisteme // Sovremennye problemy i perspektivy razvitiya bankovskogo sektora Rossii: materialy II Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. Tambov: Tambovskij gosudarstvennyj universitet im. G.R. Derzhavina, 2017. S. 150–155.

6. Ob utverzhdenii svoda pravil «Sistemy protivopozharnoj zashchity. Ustanovki pozharotusheniya avtomaticheskie. Normy i pravila proektirovaniya»: prikaz MCHS Rossii ot 31 avg. 2020 g. № 628. Dostup iz inform.-pravovogo portala «Konsul'tantPlyus».

7. Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Safety and Health Topics: Noise. URL: <https://www.osha.gov/noise> (data obrashcheniya: 25.06.2025).
8. Acoustic Noise in Data Centers: The Hidden Foe of HDD Reliability / A. Bhagat [et al.] // Proceedings of the 2020 IEEE Symposium on Mass Storage Systems and Technologies (MSST). 2020. P. 1–12.
9. The Register. Fire alarm triggers data centre hard disk crash. 2017. URL: https://www.theregister.com/2017/11/07/fire_alarm_triggers_data_centre_hard_disk_crash/ (data obrashcheniya: 20.06.2025).
10. Cerrudo C., Apa. Hacking Chemical Plants for Competition and Extortion // Presentation at Black Hat USA. 2015. URL: <https://www.blackhat.com/docs/us-15/materials/us-15-Cerrudo-Hacking-Chemical-Plants-For-Competition-And-Extortion-wp.pdf> (data obrashcheniya: 22.09.2025).
11. Western Digital. White Paper: Airborne Acoustics Self-Monitoring Analysis and Reporting Technology. 2018.
12. Anderson D. Hard Disk Drive Specification // Seagate Technology. 2012. URL: <https://www.seagate.com/files/staticfiles/docs/pdf/whitepaper/tp561-hard-drive-specifications-en-us.pdf> (data obrashcheniya: 22.06.2025).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.07.2025; одобрена после рецензирования: 18.09.2025; принята к публикации: 24.09.2025

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.07.2025; approved after review: 18.09.2025; accepted for publication: 24.09.2025

Сведения об авторах:

Ахунова Дарья Геннадьевна, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3361-3464>, SPIN-код: 4802-3758

Information about the authors:

Akhunova Daria G., adjunct of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovskiy ave., 149), e-mail: shurakova.darya@bk.ru, <https://orcid.org/0009-0009-3361-3464>, SPIN: 4802-3758