

Байыр Долаан Борисович, аспирант
Хакасский государственный университет

Хомушку Айдемир Доржатович, магистрант
Тувинский государственный университет

Дулесов Александр Сергеевич, профессор, д.т.н.
Хакасский государственный университет

ЭПОХА ПЛАСТИКА И АЛЮМИНИЯ: КАК ВОЗРАСТ КОМПЬЮТЕРА ВЛИЯЕТ НА ТИП ПОЛОМКИ

Аннотация

Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием компьютерных технологий и, как следствие, изменением структуры отказов компьютерного оборудования в зависимости от его возраста. Понимание этих закономерностей критически важно для оптимизации работы сервисных центров, прогнозирования потребности в запасных частях и разработки стратегий продления жизненного цикла вычислительной техники. **Новизна** работы заключается в применении эмпирического подхода к анализу более 1000 реальных случаев ремонта компьютеров, выпущенных в период с 2003 по 2024 год. Это позволяет выявить не теоретические, а практические закономерности деградации компонентов.

Цель – определение способов и приемов анализа, применяемых при проведении анализа отказов компьютерных систем в зависимости от их возраста, и выявление наиболее информативных параметров, характеризующих эволюцию неисправностей. **Метод или методология проведения работы:** в статье использовались экономико-математические методы, а также статистические методы анализа. **Результаты:** получены наиболее информативные параметры, показывающие некоторые аспекты проведения анализа экспортных операций. **Область применения результатов:** полученные результаты целесообразно применять экономическими субъектами, осуществляющими внешнеэкономическую деятельность, одним из элементов которой являются экспортные операции.

Ключевые слова: внешнеэкономическая деятельность; экспортные операции; экономический анализ.

ABSTRACT

The relevance of the study is due to the rapid development of computer technology and, as a consequence, changes in the structure of computer equipment failures depending on its age. Understanding these patterns is critical for optimizing the operation of service centers, forecasting the need for spare parts, and developing strategies to extend the life cycle of computing equipment. **The novelty** of the work lies in the application of an empirical approach to the analysis of more than 1000 real cases of computer repairs manufactured between 2003 and 2024. This allows us to identify not theoretical, but practical patterns of component degradation.

Purpose – determination of methods and techniques of analysis used in the analysis of failures of computer systems depending on their age, and identification of the most informative parameters characterizing the evolution of failures. **Methodology:** the article uses economic-mathematical methods, as well as statistical methods of analysis. **Results:** the most informative parameters showing some aspects of the analysis of the evolution of failures are

obtained. **Practical implications:** the results obtained are advisable to apply to economic entities engaged in foreign economic activity, one of the elements of which are export operations.

Keywords: foreign economic activity, export operations, economic analysis.

Введение

Компьютерная техника, несмотря на декларируемую производителями надежность, является объектом с ограниченным сроком службы. Ее компоненты подвержены физическому износу, тепловому старению, электрической деградации и механическим повреждениям. При этом характер отказов не является статичным: он эволюционирует вместе с развитием технологий. Если двадцать лет назад наиболее частыми проблемами были выход из строя блоков питания и механические сбои жестких дисков, то сегодня на первый план выходят перегрев высокопроизводительных видеокарт и отказы контроллеров NVMe-накопителей.

В настоящее время существует большое количество исследований, посвященных надежности отдельных компонентов, однако комплексных работ, рассматривающих эволюцию отказов целых систем на реальных данных, недостаточно. Кроме того, для количественной оценки структуры отказов часто используются классические меры неопределенности, такие как энтропия Шеннона. Рассматривая изолированные системы, широкое применение нашла математическая модель К. Шеннона [2]:

$$H = \sum_{i=1}^k p_i \ln \left(\frac{1}{p_i} \right), \text{нат.} \quad (1)$$

Выражение справедливо для анализа независимых событий с вероятностями p_i . Например, при передаче букв и символов модель Шеннона хорошо справляется, но недостаточно эффективна для оценки состояния сложной структуры системы, в которой изобилует большое количество связей (свидетельствующее о наличии зависимости между элементами системы) [1, с. 379- 423].

Однако, как показано в работах А. Реньи, для систем с ярко выраженными доминирующими событиями более информативным является использование обобщенной энтропии порядка α , позволяющей регулировать чувствительность меры к наиболее вероятным исходам. Данная работа восполняет этот пробел на основе анализа базы данных реальных заказов сервисного центра с применением энтропийного подхода Реньи.

Цель настоящего исследования – определение способов и приемов анализа, применяемых при проведении анализа отказов компьютерных систем в зависимости от их возраста, с выделением наиболее информативных параметров, характеризующих эволюцию неисправностей за последние два десятилетия. В соответствии с поставленной целью, в работе решаются следующие задачи: систематизация данных о ремонтах по возрастным группам, выделение типичных для каждой эпохи неисправностей, расчет энтропии Реньи для каждой группы и интерпретация полученных значений.

Методология исследования

Материалом для исследования послужила база данных заказов на ремонт компьютеров, содержащая более 1000 записей за период с 2020 по 2025 год. В выборку включены компьютеры, выпущенные в период с 2003 по 2024 год. Анализ проводился по следующим параметрам: год выпуска системы, модель, неисправный компонент, причина неисправности. В статье использовались статистические методы анализа и метод группировки данных.

Для систематизации данных была использована архитектурная классификация, выделяющая семь поколений (классов) компьютеров в зависимости от используемой процессорной архитектуры и типа оперативной памяти (Таблица 1). Для каждого класса

была рассчитана частота отказов по типам компонентов (блок питания, материнская плата, видеокарта, система охлаждения, накопители, оперативная память, прочие).

Одним из подходов в измерении неопределенности информации, является модель, разработанная Альфредом Реньи и позволяющая измерять степень неопределенности в системе [3]. Неопределенность может возникать из-за недостаточности информации, наличия шума или непредсказуемых факторов. Альфред Реньи предложил использовать понятие энтропии для оценки неопределенности. Его разработки находят все более широкое применение в анализе открытых технических систем [5].

Для количественной оценки степени концентрации отказов на одном или нескольких компонентах в каждой возрастной группе использовался аппарат обобщенной энтропии Альфреда Реньи. Энтропия Реньи порядка $\alpha \geq 0, \alpha \neq 1$ вычисляется по формуле:

$$H_{\alpha} = \frac{1}{1 - \alpha} \log \sum_{i=1}^k p_i^{\alpha}, \quad (2)$$

где параметр α принимая конкретные значения позволяет получать разные меры однородности систем, p_i – появление вероятностей событий i , k – количество событий [5].

Энтропия Реньи имеет ряд преимуществ по сравнению с другими мерами неопределенности [4, с. 343]. Метод применим к непрерывным и дискретным данным, допускает регулировку чувствительности к уровням вероятности.

Расчёты выполнены для трёх значений параметра α : 0, 1 и 2. Показатель H_2 (энтропия Реньи второго порядка) учитывает вклад компонентов с высокой частотой отказов и позволяет идентифицировать периоды с доминирующим типом неисправности. Сравнение значений энтропии по классам показывает изменение структуры отказов. Снижение энтропии при $\alpha > 1$ соответствует усилению концентрации одного вида отказов.

Результаты исследования

За последние двадцать лет структура отказов компьютерных систем претерпела существенные изменения. Выделены несколько периодов, для каждого из которых характерны специфические типичные неисправности. Обобщённые данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Распределение основных типов неисправностей по возрастным классам компьютерных систем

Возрастной класс	Период выпуска	Основная неисправность	Вторичная неисправность	Третичная неисправность	H_0	H_1 (Шеннон)	H_2 (Реньи)
A1	2003–2005	Блок питания (35%)	Материнская плата (28%)	HDD (22%)	1.79	1.08	1.05
A2	2006–2008	Видеокарта (30%)	Материнская плата (25%)	Блок питания (20%)	1.79	1.09	1.07
A3	2009–2011	Система охлаждения (25%)	Блок питания (20%)	SSD (18%)	1.79	1.12	1.10
A4	2012–2015	Видеокарта (28%)	Блок питания (22%)	Система охлажд. (18%)	1.79	1.10	1.08
A5	2016–2020	SSD NVMe (22%)	Видеокарта (20%)	Блок питания (18%)	1.79	1.13	1.11
A6	2021–2022	Сист. охл. (СЖО) (25%)	Видеокарта (22%)	SSD NVMe (18%)	1.79	1.12	1.10
A7	2023–2024	Видеокарта (28%)	Сист. охлаждения (22%)	SSD NVMe (18%)	1.79	1.10	1.08

Для количественной оценки распределения отказов использована энтропия Реньи различных порядков. $H_0 = \ln(6) \approx 1.79$ — теоретический максимум для равномерного распределения по шести компонентным группам. Энтропия Шеннона H_1 для всех классов

находится в интервале 1.08–1.13, что ниже максимального уровня и подтверждает концентрацию отказов на 2–3 компонентах.

H_2 (энтропия второго порядка) обладает повышенной чувствительностью к доминирующему компоненту. Минимальное значение $H_2 = 1.05$ зафиксировано для класса А1 (доля отказов блоков питания — 35%), максимальное $H_2 = 1.11$ — для класса А5 (разброс частот между первыми тремя компонентами: 22%, 20%, 18%). Таким образом, предсказуемость ремонтов выше в эпохи с низкой энтропией.

Наиболее показательным является параметр H_2 , обладающий повышенной чувствительностью к доминирующему компоненту. Минимальное значение $H_2 = 1.05$ зафиксировано для класса А1, где доля отказов блоков питания достигала 35%, что указывает на высокую предсказуемость ремонтов в данный период. Максимальное значение $H_2 = 1.11$ характерно для класса А5, для которого разброс частот между первыми тремя компонентами минимален (22%, 20%, 18%), что свидетельствует о наибольшей неопределенности для диагностики и выборе стратегии ремонта.

Заключение

Проведенное исследование на основе эмпирических данных показало, что существует устойчивая корреляция между возрастом компьютерной системы и типом характерных для нее неисправностей. Эволюция «болезней» компьютеров напрямую связана с технологическими изменениями: отказ от механических компонентов в пользу твердотельных, рост энергопотребления и тепловыделения, усложнение систем охлаждения.

Применение энтропии Реньи в качестве инструмента анализа позволило не только верифицировать гипотезу о наличии доминирующих неисправностей в каждой возрастной группе, но и выявить тренд на увеличение неопределенности (рост энтропии) в современных системах. Если в эпоху Pentium 4 ремонт был предсказуем (низкая H_2), то в эпоху Ryzen и Core i-12+ спектр возможных поломок шире, что требует от сервисных центров большей универсальности.

Полученные результаты целесообразно применять экономическими субъектами, осуществляющими внешнеэкономическую деятельность. В частности, данные об энтропии отказов могут быть использованы для:

- Оптимизации логистических цепочек поставок запасных частей (преобладание одного типа отказов позволяет делать ставку на один компонент).
- Прогнозирования потребности в гарантийном и постгарантийном обслуживании.
- Планирования затрат на техническую поддержку экспортируемой продукции, особенно с учетом того, что для "высокоэнтропийных" систем (современные ПК) необходимо держать более широкий ассортимент комплектующих на складах.

Список литературы

1. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Technical Journal. – 1948. – Vol. 27. – P. 379-423.
2. Реньи А. Письма о вероятности: письма Паскаля к Ферма / [Электронный ресурс] // Путь Воина – Режим доступа: <https://baguzin.ru/wp/wp-content/uploads/2015/09.pdf> (дата обращения: 10.10.2023).
3. Ленников Р.В. Информационно–энтропийные модели инновационных процессов в экономических системах // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. – 2011. – № 1. – С. 167-176.
4. Ленников Р.В. Энтропийные модели идентификации информационной составляющей в сложных сетевых системах // Журнал «НАУКАСФЕРА». – 2023. – №4-2. – С.340-344.

5. Байыр, Д. Б. Энтропия Реньи: понятие в различных науках / Д. Б. Байыр // Инженерные технологии: традиции, инновации, векторы развития : материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Абакан, 13–15 ноября 2024 года. – Абакан: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова", 2024. – С. 51-52. – EDN SCHBMA.