

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ MODELING AND SIMULATION

doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-4-868-876

УДК 65-012

### Модель определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры предприятий

Михаил Иванович Ломакин<sup>1</sup>✉, Александр Владимирович Докукин<sup>2</sup>,  
Ирина Юрьевна Олтян<sup>3</sup>, Юлия Михайловна Ниязова<sup>4</sup>, Иван Михайлович Злыднев<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 121352, Москва, Российская Федерация

<sup>4</sup> Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, 105064, Российская Федерация

<sup>5</sup> Научно-исследовательский центр информатизации Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, 119002, Российская Федерация

<sup>1</sup> lomakin@vniigochs.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-4191-1348>

<sup>2</sup> dokukin@vniigochs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3342-8770>

<sup>3</sup> oltyan@vniigochs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>

<sup>4</sup> y\_niyazova@edu.miiigaik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5589-4855>

<sup>5</sup> zlydnev\_i@classcom.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0112-2634>

#### Аннотация

**Введение.** Современные тенденции развития предприятий непосредственно связаны с активным внедрением информационных технологий (ИТ) во все сферы их функционирования. ИТ сегодня являются не только инструментом сбора, обработки и анализа данных, но и ведущим фактором обеспечения конкурентных преимуществ. На большинстве предприятий понимают необходимость и целесообразность формирования, поддержания, модернизации ИТ-инфраструктуры, которая включает аппаратное обеспечение, программное обеспечение и сеть, связывающая их в единую систему взаимодействия. В настоящее время значительное количество крупных и средних российских компаний нуждаются в модернизации ИТ-инфраструктуры. Это связано с процессами функционирования компаний, изменением объемов работ, продаж, поставок, количества сотрудников, взаимодействий со смежниками и др. При этом процессы модернизации ИТ-инфраструктуры существенно отстают от динамики изменения состояний компаний, что, как правило, приводит к неизбежным потерям. Вследствие износа элементов ИТ-инфраструктуры существенно возрастают затраты на поддержание их в работоспособном состоянии, на контроль технического состояния, техническое обслуживание и плановый и внеплановый ремонт. В этом случае возникает задача определения сроков модернизации элементов ИТ-инфраструктуры в части их замены. Традиционно данная задача решается при известных параметрах модернизации ИТ-инфраструктуры, таких как функция распределения времени безотказной работы ее элементов. В работе предложена модель определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры предприятий в условиях, когда исходная информация о наработках на отказ представлена малыми выборками. Научная новизна работы состоит в получении общего решения задачи определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры в условиях неполных данных. **Метод.** Оптимальный срок модернизации ИТ-инфраструктуры определяется из условия максимизации математического ожидания прибыли от ее функционирования. Математическое ожидание прибыли от функционирования ИТ-инфраструктуры находится по формуле полного математического ожидания по полной группе событий: события тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) после времени замены элемента и события тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) до времени замены. **Основные результаты.** Получены соотношения для математического ожидания прибыли при экспоненциальном распределении времени безотказной работы элемента ИТ-инфраструктуры, найдено оптимальное значение срока замены элемента, показано, что данное значение срока замены доставляет именно максимум величине средней прибыли. Получено соотношение для величины нижней оценки математического ожидания прибыли на множестве функций распределения с заданными моментами, равными моментам, определенным на основе исходной выборки времени безотказной работы. Сформулирована задача определения оптимального срока замены элемента ИТ-инфраструктуры как задача поиска максимума минимума математического ожидания прибыли, которая сведена к задаче нелинейного одномерного программирования. Работоспособность модели продемонстрирована на примере определения сроков модернизации диска в дисковом массиве на примере

дискового массива HP EVA P6500, коммутатора TOPAZ Ethernet. **Обсуждение.** Полученные результаты могут быть использованы специалистами при оценке и оптимизации сроков модернизации ИТ-инфраструктуры.

**Ключевые слова**

ИТ-инфраструктура, срок замены, модель, функция распределения, моменты, предельное состояние

**Ссылка для цитирования:** Ломакин М.И., Докукин А.В., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М., Злыднев И.М. Модель определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры предприятий // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2026. Т. 26, № 4. С. 868–876. doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-4-868-876

## **A model for determining the timing of modernization IT infrastructure of enterprises**

**Mikhail I. Lomakin<sup>1</sup>, Alexander V. Dokukin<sup>2</sup>, Irina Yu. Oltyan<sup>3</sup>,  
Yulia M. Niyazova<sup>4</sup>, Ivan M. Zlydnev<sup>5</sup>**

<sup>1,2,3</sup> All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia, Moscow, 121352, Russian Federation

<sup>4</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, 105064, Russian Federation

<sup>5</sup> Scientific Research Center of Informatization of the Ministry of Foreign Affairs of Russia, Moscow, 119002, Russian Federation

<sup>1</sup> lomakin@vniigochs.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4191-1348>

<sup>2</sup> dokukin@vniigochs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3342-8770>

<sup>3</sup> oltyan@vniigochs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>

<sup>4</sup> y\_niyazova@edu.miigaik.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5589-4855>

<sup>5</sup> zlydnev\_i@classcom.ru, <https://orcid.org/0009-0006-0112-2634>

### **Abstract**

Current trends in the development of enterprises are directly related to the active introduction of Information Technology (IT) in all areas of their operation. IT today is not only a tool for collecting, processing and analyzing data, but also a leading factor in ensuring competitive advantages. Most enterprises understand the need and expediency of forming, maintaining, and modernizing an IT infrastructure that includes hardware, software, and a network connecting them into a single system of interaction. Currently, a significant number of large and medium-sized Russian companies need to modernize their IT infrastructure. This is due to the processes of functioning of companies, changes in the volume of work, sales, supplies, the number of employees, interactions with related parties, etc. At the same time, the processes of modernization of the IT infrastructure significantly lag behind the dynamics of changes in the fortunes of companies, which, as a rule, leads to inevitable losses. Due to the wear and tear of the elements of the IT infrastructure, the costs of maintaining them in working order, monitoring their technical condition, maintenance, and scheduled and unplanned repairs increase significantly. In this case, the task arises of determining the timing of the modernization of the IT infrastructure in terms of replacing its elements. Traditionally, this task is solved with known parameters of IT infrastructure modernization such as the uptime allocation function of its elements. The paper proposes a model for determining the timing of modernization of the IT infrastructure of enterprises in conditions when the initial information on the operating time for failure is represented by small samples. The scientific novelty of the work consists in obtaining a general solution to the problem of determining the timing of IT infrastructure modernization in conditions of incomplete data. The optimal time for upgrading the IT infrastructure is determined from the condition of maximizing the mathematical expectation of profit from its operation. The mathematical expectation of profit from the functioning of the IT infrastructure is based on the formula of full mathematical expectation for a complete group of events: an event identical to the fact that an element failure occurred (will occur) after the time of element replacement and an event identical to the fact that an element failure occurred (will occur) before the replacement time. The ratios for the mathematical expectation of profit are obtained with an exponential distribution of the uptime of an element of the IT infrastructure, the optimal value of the element replacement period is found, and it is shown that this value of the replacement period provides, precisely, the maximum value of the average profit. A ratio is obtained for the value of the lower estimate of the mathematical expectation of profit on a set of distribution functions with specified moments equal to the moments determined based on the initial sample of uptime. The problem of determining the optimal replacement time for an element of the IT infrastructure is formulated as the task of finding the maximum minimum of the mathematical expectation of profit, which is reduced to the problem of nonlinear one-dimensional programming. The model performance is demonstrated by the example of determining the timing of disk upgrades in a disk array using the HP EVA P6500 disk array as an example, TOPAZ Ethernet Switches. The results obtained can be used by specialists in assessing and optimizing the time frame for the modernization of the IT infrastructure.

### **Keywords**

IT infrastructure, replacement period, model, distribution function, moments, limit state

**For citation:** Lomakin M.I., Dokukin A.V., Oltyan I.Yu., Niyazova Yu.M., Zlydnev I.M. A model for determining the timing of modernization of the IT infrastructure of enterprises. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2026, vol. 26, no. 4, pp. 868–876 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2026-26-4-868-876

## Введение

ИТ-инфраструктура предприятий обычно включает аппаратное обеспечение (компьютеры, сервера, хранилища данных и т. д.), программное обеспечение (основные и вспомогательные сервисы) и сеть, связывающая их воедино. В настоящее время более 70 % крупных и средних российских компаний нуждаются в модернизации ИТ-инфраструктуры<sup>1</sup>. Это связано с процессами функционирования компаний, изменением объемов работ, продаж, поставок, количества сотрудников, взаимодействий со смежниками и др. При этом процессы модернизации ИТ-инфраструктуры существенно отстают от динамики изменения состояний компаний, что, как правило, приводит к неизбежным потерям. В процессе эксплуатации ИТ-инфраструктуры происходит старение соответствующего аппаратного обеспечения, которое состоит в износе физическом и моральном. Программное обеспечение также подвержено моральному износу. Рассмотрим подробнее аппаратное обеспечение ИТ-инфраструктуры.

Вследствие износа элементов ИТ-инфраструктуры существенно возрастают затраты на поддержание их в работоспособном состоянии, на контроль технического состояния, техническое обслуживание и плановый и внеплановый ремонт.

В этом случае возникает задача определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры в части замены ее элементов. Данная задача известна как задача определения оптимальных сроков замены оборудования. Оптимизация сроков замены оборудования выполняется либо по критерию максимума прибыли, либо по критерию минимума затрат на обслуживание и применение по назначению оборудования в течение заданного времени. При оптимизации по критерию максимума прибыли входными данными являются:  $R(t)$  — доход от эксплуатации в течение одного года оборудования возраста  $t$  лет;  $S(t)$  — остаточная стоимость оборудования;  $P$  — цена нового оборудования;  $t_0$  — начальный возраст оборудования [1–4].

На основе этих данных строится функция Беллмана как величина максимальной возможной прибыли от использования оборудования с  $k$ -го года по  $n$ -й год. Итоговая стратегия управления заменой оборудования должна быть такой, чтобы обеспечивался максимум функции Беллмана.

Недостатком данной модели является то, что в ней не учитывается надежность анализируемого оборудования и ее связь с финансовыми показателями.

В работах [5, 6] при решении задач оптимизации замены оборудования выполнен учет надежности оборудования, но при этом предполагается, что имеется полная информация о функциях распределения времени безотказной работы, которая представлена экспоненциальным распределением с известными пара-

метрами. В реальной ситуации такой информации, как правило, нет.

В [7] при решении задач замены оборудования предполагается, что известны функции, определяющие средние затраты на содержание оборудования в работоспособном состоянии в зависимости от износа: «текущего, естественного или влияния факторов, обусловленных возникновением чрезвычайных ситуаций». В реальной ситуации такая информация обычно отсутствует.

Во всех анализируемых публикациях решается задача повышения эффективности функционирования информационной системы за счет оптимизации контроля и восстановления системы после отказов, замены оборудования.

В работах [8–10] рассмотрены и решены аналогичные задачи. В [8] предложены обоснования выбора дисциплин обслуживания и восстановления потока функциональных запросов, выполнен учет влияния разделения вычислительных ресурсов на совместное выполнение требуемых функций и на информационное восстановление памяти, реализуемое после ее физического восстановления. Выбор дисциплин обслуживания и восстановления компьютерной системы направлен на достижение компромисса между стремлением увеличить коэффициент готовности и вероятностью своевременного выполнения поступающего потока функциональных запросов в рамках марковских моделей динамики состояния системы. При этом предполагается, что известны все интенсивности переходов из одного состояния в другое, что не всегда выполняется в реальных условиях.

В работе [9] изучены возможности повышения готовности кластерной системы к своевременному выполнению функциональных запросов на основе обоснования распределения вычислительных ресурсов дублирующих узлов кластера для восстановления актуальных данных и выполнения функциональных запросов. При этом также рассмотрено влияние дисциплины контроля и восстановления системы на ее экономическую эффективность в рамках марковской модели динамики состояний системы с известными параметрами переходов.

В [10] исследована задача повышения эффективности функционирования информационной системы на основе развертывания приложений в виде контейнеров. Развертывание контейнеров оценено по величине эксплуатационных расходов и прибыли от своевременного и безошибочного выполнения запросов, однако при этом показатели надежности не учитывались.

Цель настоящей работы состоит в разработке модели определения сроков модернизации ИТ-инфраструктуры предприятий путем замены ее элементов на основе реальных данных, представленных малыми выборками времени безотказной их работы (функционирования до наступления предельного состояния).

## Постановка задачи

Пусть  $Y$  — время безотказного функционирования элемента ИТ-инфраструктуры, через время  $t$  планиру-

<sup>1</sup> ИТ-инфраструктура российского бизнеса: технологические тенденции и прогнозы 2026 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.osp.ru/articles/2026/0112/13060325> (дата обращения: 17.02.2026).

ется замена этого элемента;  $F(t)$  — функция распределения времени безотказного функционирования элемента ИТ-инфраструктуры (неизвестная);  $c_1$  — прибыль в единицу времени от функционирования ИТ-инфраструктуры с данным элементом, если элемент не отказал до времени  $\tau$ ;  $c_2$  — убытки в единицу времени, вызванные отказом элемента ИТ-инфраструктуры до времени  $\tau$ ;  $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  — малая выборка значений из неизвестного распределения  $F(x)$  времени безотказного функционирования элемента ИТ-инфраструктуры.

Аналогично работам [11–15] «определим множество функций распределения  $F_0$ , из которых могла быть получена выборка  $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$ . На основе выборки найдем  $n$  выборочных моментов распределения  $F(x)$  по следующим соотношениям:

$$\mu_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^i, i = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Определим множество функций распределения  $F_1$ , у которых моменты распределения равны выборочным моментам  $\mu_i$ , полученным на основе выборки  $X$  по соотношениям (1)» [11–15], т. е.

$$F_1 = \{F(x): \int_0^\infty x^i dF(x) = \mu_i, i = \overline{1, n}\}. \quad (2)$$

В работе [15] показано, что множества функций распределения  $F_0$  и  $F_1$  совпадают. Задача определения оптимальных сроков замены элемента ИТ-инфраструктуры формулируется в виде: найти оптимальный срок замены элемента  $\tau_0$ , при котором достигается максимум минимума средней прибыли функционирования ИТ-инфраструктуры, т. е. найти такое  $\tau_0$ , что

$$\tau_0 = \arg(\max_{\tau > 0} \min_{F(t) \in F_1} M(S(\tau))),$$

где множество функций распределения  $F_1$  определяется соотношением (2).

### Метод решения поставленной задачи

Определим величину средней прибыли (математическое ожидание) от функционирования ИТ-инфраструктуры с соответствующим элементом —  $M(S(\tau))$ .

Полная группа событий, связанных с отказом элемента ИТ-инфраструктуры состоит из двух событий:

- события  $B1$  тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) после времени  $\tau$ ,  $B1 = \{Y > \tau\}$ , вероятность этого события равна  $P(B1) = P(Y > \tau)$ ;
- события  $B2$  тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) до времени  $\tau$ ,  $B2 = \{Y \leq \tau\}$ , вероятность этого события равна  $P(B2) = P(Y \leq \tau) = F(\tau)$ .

Средняя прибыль (математическое ожидание) от функционирования ИТ-инфраструктуры с соответствующим элементом в течение времени  $\tau$  определится по формуле полного математического ожидания по полной группе событий  $B1, B2$ :

$$M(S(\tau)) = M(S/B1)P(B1) + M(S/B2)P(B2),$$

где  $M(S/B1)$  — условное математическое ожидание прибыли в течение времени  $z$  при условии  $B1$ , равное  $c_1\tau$ ;  $M(S/B2)$  — условное математическое ожидание прибыли в течение времени  $z$  при условии  $B2$ , равное

$$M(Z/B2) = M((c_1Y + c_2\varphi(\tau - Y))/Y \leq \tau),$$

где  $\varphi(\cdot)$  — некоторая функция, зависящая от организации контроля и диагностики технического состояния ИТ-инфраструктуры, примем следующий вид данной функции:

$$\varphi(\tau - Y) = -kY, 0 \leq k \leq 1,$$

при этом

$$M(Y/Y \leq \tau) = \frac{\int_0^\tau x dF(x)}{F(\tau)}.$$

Итоговое соотношение для средней прибыли запишем в виде:

$$M(S(\tau)) = c_1\tau(1 - \int_0^\tau dF(x)) + (c_1 - kc_2)x dF(x), \quad (3)$$

где учтено, что

$$P(Y > \tau) = 1 - P(Y \leq \tau) = 1 - F(\tau) = 1 - \int_0^\tau dF(x).$$

Соотношение (3) может быть преобразовано к виду:

$$M(S(\tau)) = c_1\tau + \int_0^\tau (-c_1\tau + (c_1 - kc_2)x) dF(x).$$

В частности, при экспоненциальном распределении времени безотказной работы элемента ИТ-инфраструктуры с функцией распределения  $F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$ , величина средней прибыли на интервале длительностью  $z$  определится выражением:

$$M(S(\tau)) = c_1\tau e^{-\lambda\tau} + (c_1 - kc_2)(1/\lambda - \exp(-\lambda\tau)(\tau + 1/\lambda)),$$

где  $\lambda$  — параметр распределения — интенсивность отказов элемента.

В результате задача определения оптимальных сроков замены элемента ИТ-инфраструктуры сводится к нахождению  $\tau_0$  из соотношения:

$$\tau_0 = \arg(\max_{\tau > 0} M(S(\tau))).$$

Данная задача относится к числу задач одномерного нелинейного программирования.

Найдем производную функции  $M(S(\tau))$  по  $\tau$ , приравняв ее нулю, получим следующее уравнение:

$$\frac{dM(S(\tau))}{d\tau} = e^{-\lambda\tau}(c_1(1 - \lambda\tau) + (c_1 - kc_2)\lambda\tau) = 0.$$

Из последнего уравнения получим точку экстремума функции  $M(S(\tau))$ :

$$\tau_0 = \frac{c_1}{kc_2\lambda}. \quad (4)$$

Найдем вторую производную функции  $M(S(\tau))$ , подставим значение в точке экстремума  $\tau_0$ , определяемое соотношением (4), тогда имеем:

$$\frac{d^2 M(S(\tau))}{d\tau^2} = -\lambda e^{-\lambda \tau} k c_2 < 0.$$

Следовательно, соотношение (4) задает оптимальный срок замены элемента ИТ-инфраструктуры по критерию максимума средней прибыли

Аналогично может быть определен оптимальный срок замены элемента ИТ-инфраструктуры при любом распределении времени его безотказного функционирования.

Однако в реальной ситуации функция распределения времени безотказной работы неизвестна, известны только выборки значений времени безотказного функционирования. В этом случае необходимо перейти к задаче определения оптимальных сроков замены элемента ИТ-инфраструктуры по критерию гарантированной максимальной прибыли, т. е. к максимизации гарантированной минимальной прибыли.

Рассмотрим задачу определения минимальной средней прибыли функционирования ИТ-инфраструктуры на множестве функций распределения  $F_1$  с заданными моментами, т. е. задачу определения нижней оценки функции  $M(S(\tau))$  на множестве функций  $F(x) \in F_1$ .

Данная задача тождественна задаче определения нижней оценки определенного интеграла

$$\int_0^{\tau} Q(x) dF(x)$$

на множестве функций  $F(x) \in F_1$ . Здесь  $Q(x) = -c_1 \tau + (c_1 - k c_2)x$ .

Решение последней задачи получено в работах [12–15] и сводится к следующему.

Утверждение 1. «Наибольшее (наименьшее) значение интеграла

$$J(F) = \int_0^{\tau} Q(x) dF(x)$$

при  $F(x) \in F_1$  достигается:

- на единственном ступенчатом распределении  $F(x)$ , у которого среди точек роста  $t_1, t_2, \dots, t_v$  имеется точка  $\tau$ ;
- при нечетном  $n$  число точек роста  $v$  функции распределения  $F(x)$  определяется соотношением  $v = (n + 3)/2$ , причем  $0 = t_1 < t_2 < \dots < t_v < \infty$ ;
- при четном  $n$  число точек роста  $v$  функции распределения  $F(x)$  определяется соотношением  $v = n/2 + 1$ , причем  $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_v < \infty$ ;
- числа  $p_j > 0$ ,  $t_j, j = 1, 2, \dots, v$  удовлетворяют системе моментных уравнений:

$$\mu_j = \sum_{i=1}^v t_i^j p_i; j = \overline{1, n}; n > 1.$$

Функция  $Q(x)$  должна иметь неотрицательную  $n + 1$ -ю производную» [12–15].

В рассматриваемом случае  $Q(x) = -c_1 \tau + (c_1 - k c_2)x$ , следовательно, условие неотрицательности  $n + 1$ -ой ( $n > 1$ ) производной функции  $Q(x)$  выполняется.

Пусть на основании выборки  $X = (x_1, x_2, \dots, x_k)$  определены два момента  $\mu_1$  и  $\mu_2$  по соотношениям (1), тогда, применяя непосредственно утверждение 1, находим нижнюю оценку средней прибыли функционирования ИТ-инфраструктуры:

$$\min_{F(t) \in F_1} M(S(\tau)) = c_1 \tau + (-c_1 \tau + (c_1 - k c_2)\tau)p = \tau(c_1 - k c_2 p),$$

где величина вероятности  $p = F(\tau)$  — нижняя оценка функции распределения времени безотказной работы элемента [13, 15] ИТ-инфраструктуры — определяется следующим образом:

$$p = \begin{cases} 0; & \tau \leq \mu_1; \\ \frac{(\mu_1 - \tau)^2}{\mu_2 - 2\mu_1\tau + \tau^2}, & \tau > \mu_1. \end{cases}$$

Оптимальный срок замены элемента  $\tau_0$ , при котором достигается максимум минимума средней прибыли функционирования ИТ-инфраструктуры, определим из решения задачи: найти такое  $\tau_0$ , что

$$\tau_0 = \arg \left( \max_{\tau > 0} \left( \tau \left( c_1 - k c_2 \frac{(\mu_1 - \tau)^2}{\mu_2 - 2\mu_1\tau + \tau^2} \right) \right) \right). \quad (5)$$

Решение последней задачи находится численно.

## Примеры нахождения оптимального срока замены элементов ИТ-инфраструктуры

**Исходные данные по стоимости.** По данным работы [16] среднее соотношение между убытками в единицу времени, вызванными отказом элемента ИТ-инфраструктуры и прибылью в единицу времени ее функционирования, составляет величину  $c_2/c_1 = 1,5$ –8. Это соотношение индивидуально для каждой ИТ-инфраструктуры. Примерно такие же оценки приведены в работе [17]. При этом следует отметить, что вопрос стоимости убытков от простоя ИТ-инфраструктуры исследован достаточно полно<sup>1</sup>, в частности, данные по стоимости простоя ИТ-инфраструктуры по различным сегментам экономики:  $c_1 = 20\,000$ – $50\,000$  руб./ч,  $c_2 = 50\,000$ – $70\,000$  руб./ч.

<sup>1</sup> Стоимость простоя ИТ-инфраструктуры для малого и среднего бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cloud4y.ru/blog/infrastructure-downtime-cost/> (дата обращения: 17.02.2026); сколько теряет бизнес от простоя ИТ инфраструктуры? [Электронный ресурс]. URL: [https://afforto.ru/company/blog/skolko\\_teryaet\\_biznes\\_ot\\_prostoya\\_it\\_infrastruktury/](https://afforto.ru/company/blog/skolko_teryaet_biznes_ot_prostoya_it_infrastruktury/) (дата обращения: 17.02.2026); Экономика отказоустойчивости: сколько стоит простой системы и почему QA снижает риски? [Электронный ресурс]. URL: <https://tquality.ru/blog/ekonomika-otkazoustoichivosti/> (дата обращения: 17.02.2026); Цена простоя: почему 1 час остановки серверов может стоить компании больше, чем их годовое обслуживание [Электронный ресурс]. URL: <https://dzen.ru/a/aR2-URzC7jwLEFoT> (дата обращения: 17.02.2026).

**Пример 1.** Вопросы определения показателей долговечности элементов ИТ-инфраструктуры рассматривались в работах [18–24], при этом практически во всех работах приводятся только данные о среднем времени наработки элементов (Mean Time Between Failure, MTBF). В работе [19] приведены данные о наработках дискового массива HP EVA P6500, на основе которых в [9] получены оценки при двух моментах времени безотказной работы одного диска  $\mu_1 = 3,15 \cdot 10^5$  ч,  $\mu_2 = 1,47 \cdot 10^{11}$  ч<sup>2</sup>. В [19] приведены данные о первом моменте времени безотказной работы одного диска дискового массива  $\mu_1 = 4 \cdot 10^5$  ч.

В табл. 1 приведены результаты определения оптимального срока замены диска дискового массива ИТ-инфраструктуры при различных значениях моментов времени безотказной работы и для разных стоимостях прибыли и убытков в единицу времени и значении  $k = 1$ . Оптимальный срок замены диска определялся численно как решение оптимизационной задачи (5) с помощью Microsoft Excel, пункт «Данные», «Поиск решения», «Поиск решения нелинейных задач методом ОПГ (обобщенного приведенного градиента)».

**Пример 2.** Важным компонентом ИТ-инфраструктуры является сетевое оборудование, включая маршрутизаторы, концентраторы и коммутаторы. Коммутаторы являются неотъемлемым элементом локальных вычислительных сетей (ЛВС), обеспечивая надежность и эффективность сетевой структуры. В работах [25–27]

рассматриваются вопросы надежности коммутаторов, строится структурная схема надежности коммутатора, ЛВС. В [25] рассматриваются структурные схемы надежности коммутаторов: схема Клоза, схема Баньяна, матричная схема, а также схема дуального коммутатора. Во всех схемах надежности «процесс установления соединения происходит последовательно от базового элемента (base element) (BE) одного каскада к BE следующего каскада» [25], т. е. отказ одного базового элемента приводит к отказу коммутатора. В структурных схемах надежности ЛВС<sup>1</sup> коммутатор соединен последовательно с другими элементами, следовательно, отказ коммутатора приводит к отказу ЛВС и ее простою [25–27].

<sup>1</sup> Богомаз М. Коммутатор OSI 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://timeweb.cloud/blog/kommutator-osi> (дата обращения: 17.02.2026); Коммутаторы Aquarius N5000 [Электронный ресурс]. URL: [https://net.aq.ru/ru/index/conf/datasheet\\_AQ-N5000\\_FULL](https://net.aq.ru/ru/index/conf/datasheet_AQ-N5000_FULL) (дата обращения: 17.02.2026); Коммутаторы Full Gigabit Ethernet на DIN рейку серии TOPAZ SW300 MC [Электронный ресурс]. URL: <https://tpz.ru/production/net-equipment-topaz/switches/neupravlyaemye-ethernet-kommutatory/kommutatory-full-gigabit-ethernet-nadin-reyku-serii-topaz-sw300> (дата обращения: 17.02.2026); Промышленные PoE-коммутаторы для IP-оборудования [Электронный ресурс]. URL: <https://insat.ru/ethernet-switchie-promyshlennyye-poe/> (дата обращения: 17.02.2026).

Таблица 1. Оптимальный срок замены диска дискового массива  
Table 1. Optimal replacement time for a disk array disk

| $\mu_1 \times 10^5$ ч | $\mu_2 \times 10^{11}$ ч <sup>2</sup> | $c_1 \times 10^5$ руб./ч | $c_2 \times 10^5$ руб./ч | $M(S) \times 10^{11}$ руб. | $\tau_0 \times 10^5$ ч |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|
| 3,15                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,58                       | 3,43                   |
| 3,20                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,66                       | 3,46                   |
| 3,25                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,74                       | 3,49                   |
| 3,30                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,82                       | 3,52                   |
| 3,35                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,90                       | 3,55                   |
| 3,40                  | 1,47                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,98                       | 3,57                   |
| 3,40                  | 1,48                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,98                       | 3,58                   |
| 3,40                  | 1,49                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,99                       | 3,59                   |
| 3,40                  | 1,50                                  | 2,00                     | 5,00                     | 6,99                       | 3,59                   |
| 3,40                  | 1,51                                  | 2,00                     | 5,00                     | 7,00                       | 3,60                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 2,00                     | 5,00                     | 7,00                       | 3,60                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 2,20                     | 5,00                     | 7,73                       | 3,62                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 2,40                     | 5,00                     | 8,45                       | 3,64                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 2,60                     | 5,00                     | 9,81                       | 3,66                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 2,80                     | 5,00                     | 10,02                      | 3,69                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 10,06                      | 3,65                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 3,00                     | 6,50                     | 10,06                      | 3,63                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 3,00                     | 7,00                     | 10,05                      | 3,61                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 3,00                     | 7,50                     | 10,05                      | 3,60                   |
| 3,40                  | 1,52                                  | 3,00                     | 8,00                     | 10,05                      | 3,59                   |

*Примечание:*  $\mu_1$  — первый момент (математическое ожидание) времени безотказной работы диска, коммутатора (далее элемента);  $\mu_2$  — второй момент времени безотказной работы элемента;  $c_1$  — прибыль в единицу времени от функционирования ИТ-инфраструктуры с данным элементом;  $c_2$  — убытки в единицу времени, вызванные отказом элемента ИТ-инфраструктуры;  $M(S)$  — математическое ожидание прибыли;  $\tau_0$  — оптимальный срок замены элемента.

Таблица 2. Оптимальный срок замены коммутатора

Table 2. Optimal switch replacement time

| $\mu_1 \times 10^5$ ч | $\mu_2 \times 10^{11}$ ч <sup>2</sup> | $c_1 \times 10^5$ руб./ч | $c_2 \times 10^5$ руб./ч | $M(S) \times 10^{11}$ руб. | $\tau_0 \times 10^5$ ч |
|-----------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------|
| 1,20                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 6,52                       | 2,90                   |
| 1,30                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 6,72                       | 2,95                   |
| 1,40                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 6,92                       | 3,01                   |
| 1,50                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,13                       | 3,06                   |
| 1,60                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,33                       | 3,11                   |
| 1,70                  | 2,16                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,54                       | 3,16                   |
| 1,20                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 6,85                       | 3,08                   |
| 1,30                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,05                       | 3,14                   |
| 1,40                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,25                       | 3,19                   |
| 1,50                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,45                       | 3,24                   |
| 1,60                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,66                       | 3,29                   |
| 1,70                  | 2,52                                  | 3,00                     | 6,00                     | 7,86                       | 3,34                   |
| 2,00                  | 2,60                                  | 4,00                     | 7,00                     | 8,45                       | 3,64                   |
| 2,00                  | 2,70                                  | 4,00                     | 7,00                     | 11,92                      | 3,78                   |
| 2,00                  | 2,80                                  | 4,00                     | 7,00                     | 12,04                      | 3,83                   |
| 2,00                  | 2,90                                  | 4,00                     | 7,00                     | 10,06                      | 3,65                   |
| 2,00                  | 3,00                                  | 4,00                     | 7,00                     | 12,27                      | 3,93                   |
| 2,00                  | 3,10                                  | 4,00                     | 7,00                     | 12,39                      | 3,98                   |
| 2,00                  | 3,20                                  | 4,00                     | 7,00                     | 12,50                      | 4,03                   |
| 2,00                  | 3,30                                  | 4,00                     | 8,00                     | 12,15                      | 3,85                   |
| 2,00                  | 3,30                                  | 4,00                     | 9,00                     | 11,78                      | 3,69                   |
| 2,00                  | 3,30                                  | 4,00                     | 10,00                    | 11,48                      | 3,55                   |

Далее примем для коммутатора, что  $MTBF = \mu_1 = 9 \cdot 10^4 - 3 \cdot 10^5$  ч. Данные о втором моменте времени безотказной работы коммутатора определим из соотношения  $\mu_2 = \mu_1^2 + D$ , где  $D$  — дисперсия времени безотказной работы. Допустим, что  $D = 0,5 \cdot \mu_1^2$ . Тогда  $\mu_2 = 8,1 \cdot 10^9 - 9 \cdot 10^{10}$  ч<sup>2</sup>.

В табл. 2 приведены результаты определения оптимального срока замены коммутатора TOPAZ Ethernet при различных значениях моментов времени безотказной работы и для разных стоимостей прибыли и убытков в единицу времени. Оптимальный срок замены диска определялся численно как решение оптимизационной задачи (5) с помощью Microsoft Excel, пункт «Данные», «Поиск решения», «Поиск решения нелинейных задач методом ОПП (обобщенного приведенного градиента)».

Из табл. 1 и 2 следует, что при увеличении первого момента, при увеличении второго момента, а также при одновременном увеличении первого и второго моментов времени безотказной работы диска и коммутатора наблюдается рост величины оптимального срока их замены по критерию максимума минимума прибыли от функционирования ИТ-инфраструктуры. При росте стоимости прибыли в единицу времени от функционирования ИТ-инфраструктуры наблюдается рост величины оптимального срока замены диска дискового массива и коммутатора, а при росте стоимости убытков в единицу времени наблюдается уменьшение величины оптимального срока замены диска дискового массива и коммутатора.

## Заключение

Рассмотрена задача определения оптимальных сроков модернизации ИТ-инфраструктуры предприятий в условиях неполных данных, представленных малыми выборками случайных величин времени безотказной работы элемента ИТ-инфраструктуры. Оптимальный срок модернизации ИТ-инфраструктуры определяется из условия максимизации математического ожидания прибыли от ее функционирования. Математическое ожидание прибыли от функционирования ИТ-инфраструктуры находится по формуле полного математического ожидания по группе событий: события тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) после времени замены элемента и события тождественного тому, что отказ элемента произошел (произойдет) до времени замены. Получены соотношения для математического ожидания прибыли при экспоненциальном распределении времени безотказной работы элемента ИТ-инфраструктуры и найдено оптимальное значение срока замены элемента. Показано, что данное значение срока замены доставляет именно максимум величины средней прибыли. Получено соотношение для величины нижней оценки математического ожидания прибыли на множестве функций распределения с заданными моментами, равными моментам, определенным на основе исходной выборки времени безотказной работы. Сформулирована задача определения оптимального срока замены элемента ИТ-инфраструктуры как задача поиска макси-

мума минимума математического ожидания прибыли, которая сведена к задаче нелинейного одномерного программирования. Приведены примеры определения

оптимального срока замены диска в дисковом массиве, коммутатора сетевого оборудования на данных близких к реальным.

## Литература

1. Лисицын Н.В., Викторов В.К. Определение оптимального времени функционирования информационной системы // Проблемы управления. 2006. № 6. С. 91–92.
2. Дынченко Т.В. Методика обоснования срока замены оборудования при заданном периоде обеспечения им предприятия // Политехнический молодежный журнал. 2023. № 1 (78). С. 1–6. doi: 10.18698/2541-8009-2023-1-855
3. Рубцов А.В., Мамаева С.В., Храмова Л.Н., Храмов И.В. Анализ информационной системы организации. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. 113 с.
4. Канищева О.И., Служенко И.Н. Решение задачи о замене оборудования методом динамического программирования // Материалы XXII Международной научно-практической конференции им. Э.К. Алгазина. 2022. С. 270–278.
5. Корниенко В.П., Соловьева М.Х. Оптимизационные методы обеспечения деятельности предприятия на основе оптимальных сроков замены производственных активов: монография. М.: МАКС Пресс, 2006. 212 с.
6. Китушин В.Г. Учёт фактора надёжности при определении эффективного срока эксплуатации оборудования электрической сети // Энергетика: экология, надёжность, безопасность: материалы тринадцатой Всероссийской научно-технической конференции. Томск: Изд-во ТПУ, 2007. С. 187–190.
7. Херсонский Н.С., Большедворская Л.Г. Выбор и обоснование методов и математических моделей износа и замены оборудования // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. 2023. № 1. С. 27–41. doi: 10.51955/2312-1327\_2023\_1\_27
8. Богатырев В.А., Богатырев С.В., Богатырев А.В. Оценка готовности компьютерной системы к своевременному обслуживанию запросов при его совмещении с информационным восстановлением памяти после отказов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23. № 3. С. 608–617. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-608-617
9. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Recovery of real-time clusters with the division of computing resources into the execution of functional queries and the restoration of data generated since the last backup // Lecture Notes in Computer Science. 2024. V. 14123. P. 236–250. doi: 10.1007/978-3-031-50482-2\_19
10. Богатырев В.А., Фунг В.К. Многокритериальная оптимизация структуры кластера с контейнерной виртуализацией // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2025. Т. 68. № 5. С. 371–379. doi: 10.17586/0021-3454-2025-68-5-371-379
11. Ломакин М.И., Докукин А.В. Оценка моментов квантованной случайной величины // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2023. Т. 23. № 3. С. 646–651. doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-646-651
12. Ломакин М.И., Докукин А.В., Олтян И.Ю., Ниязова Ю.М. Гарантированные оценки гамма-процентного остаточного ресурса оборудования систем хранения данных // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2024. Т. 24. № 5. С. 815–823. doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-5-815-823
13. Lomakin M., Buryi A., Dokukin A., Strekha A., Niyazova J., Balvanovich A. Estimation of quality indicators based on sequential measurements analysis // International Journal for Quality Research. 2020. V. 14. N 1. P. 147–162. doi: 10.24874/ijqr14.01-10
14. Ломакин М.И., Сухов А.В., Докукин А.В., Ниязова Ю.М. Оценка показателей надёжности космических аппаратов в условиях неполных данных // Космические исследования. 2021. Т. 59. № 3. С. 235–239. doi: 10.31857/S0023420621030080
15. Buryi A.S., Lomakin M.I., Sukhov A.V. Quality assessment of “stress-strength” models in the conditions of big data // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering. 2020. V. 9. N 3. P. 3276–3281. doi: 10.35940/ijitee.c8982.019320
16. Ткалич Т.А. Методологические основы оценки экономической эффективности информационных систем: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук. Минск: БГУ, 2015. 51 с.

## References

1. Lisitsyn N.V., Viktorov V.K. Evaluation of information system's optimal lifetime of information system. *Problemy Upravleniya*, 2006, no. 6, pp. 91–92. (in Russian)
2. Dynchenko T.V. Methodology for substantiating the period of equipment replacement for a given period of the enterprise. *Politechnical Student Journal*, 2023, no. 1 (78), pp. 1–8. (in Russian). doi: 10.18698/2541-8009-2023-1-855
3. Rubtsov A.V., Mamaeva S.V., Khranova L.N., Khranov I.V. *Analysis of the Organization's Information System*. Krasnoyarsk, Siberian Federal University, 2022, 113 p. (in Russian)
4. Kanishcheva O.I., Sluzhenko I.N. Solving the problem of replacing equipment by dynamic programming. *Proc. of the 22nd International Scientific and Practical Conference named after E.K. Algazinov*, 2022, pp. 270–278. (in Russian)
5. Kornienko V.P., Solovyova M.H. *Optimization Methods for Ensuring Enterprise Activity Based on Optimal Replacement Times for Production Assets*. Moscow, MAKS Press, 2006. 212 p. (in Russian)
6. Kitushin V.G. Taking into account the reliability factor in determining the effective service life of electrical network equipment. *Proc. of the 13th All-Russian Scientific and Technical Conference — Energy: Ecology, Reliability, Safety*, 2007, pp. 187–190. (in Russian)
7. Khersonsky N.S., Bolshedvorskaya L.G. Selection and justification of methods and mathematical models of equipment wear and replacement. *Crede Experto: transport, society, education, language*, 2023, no. 1, pp. 27–41. (in Russian). doi: 10.51955/2312-1327\_2023\_1\_27
8. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Assessment of the readiness of a computer system for timely servicing of requests when combined with information recovery of memory after failures. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 608–617. (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-608-617
9. Bogatyrev V.A., Bogatyrev S.V., Bogatyrev A.V. Recovery of real-time clusters with the division of computing resources into the execution of functional queries and the restoration of data generated since the last backup. *Lecture Notes in Computer Science*, 2024, vol. 14123, pp. 236–250. doi: 10.1007/978-3-031-50482-2\_19
10. Bogatyrev V.A., Phung V.Q. Multi-criteria optimization of cluster structure with container virtualization. *Journal of Instrument Engineering*, 2025, vol. 68, no. 5, pp. 371–379. (in Russian). doi: 10.17586/0021-3454-2025-68-5-371-379
11. Lomakin M.I., Dokukin A.V. Estimation of the moments of a quantized random variable. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2023, vol. 23, no. 3, pp. 646–651. (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2023-23-3-646-651
12. Lomakin M.I., Dokukin A.V., Oltyan I.Yu., Niyazova Yu.M. Guaranteed estimates of the gamma percent residual life of data storage equipment. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2024, vol. 24, no. 5, pp. 815–823. (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-5-815-823
13. Lomakin M., Buryi A., Dokukin A., Strekha A., Niyazova J., Balvanovich A. Estimation of quality indicators based on sequential measurements analysis. *International Journal for Quality Research*, 2020, vol. 14, no. 1, pp. 147–162. doi: 10.24874/ijqr14.01-10
14. Lomakin M.I., Sukhov A.V., Dokukin A.V., Niyazova Y.M. Assessment of reliability indicators of space vehicles under conditions of incomplete data. *Cosmic Research*, 2021, vol. 59, no. 3, pp. 199–203. doi: 10.1134/s0010952521030072
15. Buryi A.S., Lomakin M.I., Sukhov A.V. Quality assessment of “stress-strength” models in the conditions of big data. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 2020, vol. 9, no. 3, pp. 3276–3281. doi: 10.35940/ijitee.c8982.019320
16. Tkachik T.A. *Methodological Foundations for Assessing the Economic Efficiency of Information Systems*. Abstract of the dissertation for the degree of doctor of economics. Minsk, BSU, 2015, 51 p. (in Russian)
17. Seredenko E.S. *Evaluation of the Economic Efficiency of Analytical Information Systems*. Dissertation for the degree of candidate of

17. Середенко Е.С. Оценка экономической эффективности аналитических информационных систем: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014. 166 с.
18. Шуршев В.Ф., Гостюнин Ю.А. Экспертная оценка ущерба при отказе информационной системы предприятия // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2020. № 4. С. 112–120. doi: 10.24143/2072-9502-2020-4-112-120
19. Парошин Н.А., Мешчеров М.Ш. Анализ надёжности и безопасности хранения данных в RAID-системах // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 9 (149). С. 8.
20. Афонин И. Надёжность избыточных дисковых массивов // Современные технологии автоматизации (СТА). 2019. № 3. С. 94–103.
21. Каяшев А.И., Рахман П.А., Шарипов М.И. Анализ показателей надёжности избыточных дисковых массивов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2013. Т. 17. № 2 (55). С. 163–170.
22. Khomonenko A.D., Ermakov S.G., Khasan R.A. Reliability model of RAID-60 disk arrays // *Engineering Journal of Don*. 2024. № 1 (109). P. 89–100.
23. Гуз И.Д., Острейковский В.А. Анализ эксплуатационной надёжности оборудования систем хранения данных // Вестник кибернетики. 2019. № 3 (35). С. 35–42.
24. Полесский С.Н., Востриков А.В., Прокофьева Е.Н., Романова И.И. Методика оценки надёжности вычислительной техники с учетом влияния отказов вспомогательного оборудования // Информационные технологии. 2019. Т. 25. № 4. С. 241–249. doi: 10.17587/it.25.241-249
25. Барабанова Е.А., Вытовтов К.А., Федоровская А.Н. Математические модели и метод оценки надёжности полностью оптических коммутаторов // *Computational Nanotechnology*. 2024. Т. 11. № S5. С. 47–54. doi: 10.33693/2313-223X-2024-11-5-47-54
26. Полесский С.Н., Карапузов М.А., Жданов В.В. Надёжность локальной вычислительной сети на базе тонкого клиента и рабочих станций // Надёжность и качество сложных систем. 2013. № 4. С. 66–74.
27. Иванов А. Коммутаторы для сетей Ethernet с особо жесткими условиями эксплуатации // *Электроника: наука, технология, бизнес*. 2012. № 7 (121). С. 84–87.
- economic sciences. Moscow: Lomonosov Moscow State University, 2014, 166 p. (in Russian)
18. Shurshev V.F., Gostiunin I.U. A Expert evaluation of damage through enterprise information system failure. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*, 2020, no. 4, pp. 112–120. (in Russian). doi: 10.24143/2072-9502-2020-4-112-120
19. Paroshin N.A., Meshchero M.S. Analysis of reliability and security of data storage in RAID systems. *Modern Scientific Research and Innovations*, 2023, no. 9 (149), pp. 8. (in Russian)
20. Afonin I. Reliability of redundant disk arrays. *Modern Automation Technologies*, 2019, no. 3, pp. 94–103. (in Russian)
21. Kayashev A.I., Rakhman P.A., Sharipov M.I. Reliability analysis of redundant disk arrays. *Vestnik Ugatu*, 2013, vol. 17, no. 2 (55), pp. 163–170. (in Russian)
22. Khomonenko A.D., Ermakov S.G., Khasan R.A. Reliability model of RAID-60 disk arrays. *Engineering Journal of Don*, 2024, no. 1 (109), pp. 89–100.
23. Guz I.D., Ostreikovsky V.A. Operational reliability analysis of hardware of data storage systems. *Proceedings in Cybernetics*, 2019, no. 3 (35), pp. 35–42. (in Russian)
24. Polesky S.N., Vostrikov A.V., Prokofieva E.N., Romanova I.I. Methods of assessing the reliability of computing with due account for the failure effect of auxiliary equipment. *Information Technologies*, 2019, vol. 25, no. 4, pp. 241–249. (in Russian). doi: 10.17587/it.25.241-249
25. Barabanova E.A., Vytovtov K.A., Fedorovskaya A.N. Mathematical models and method for assessing the reliability of all-optical switches. *Computational Nanotechnology*, 2024, vol. 11, no. S5, pp. 47–54. (in Russian). doi: 10.33693/2313-223X-2024-11-5-47-54
26. Polesky S.N., Karapuzov M.A., Zhdanov V.V. Reliability of a local computer network based on a thin client and workstations. *Reliability & Quality of Complex Systems*, 2013, no. 4, pp. 66–74. (in Russian)
27. Ivanov A. Harsh environment Ethernet switches. *Electronics: Science, Technology, Business*, 2012, no. 7 (121), pp. 84–87. (in Russian)

## Авторы

**Ломакин Михаил Иванович** — доктор технических наук, доктор экономических наук, профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, 121352, Российская Федерация, [sc 7003352786](https://orcid.org/0000-0003-4191-1348), <https://orcid.org/0000-0003-4191-1348>, [mlomakin@yandex.ru](mailto:mlomakin@yandex.ru)

**Докукин Александр Владимирович** — доктор экономических наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, 121352, Российская Федерация, [sc 56161047500](https://orcid.org/0000-0002-3342-8770), <https://orcid.org/0000-0002-3342-8770>, [aldokukin@yandex.ru](mailto:aldokukin@yandex.ru)

**Олтян Ирина Юрьевна** — кандидат технических наук, ученый секретарь, Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, Москва, 121352, Российская Федерация, [sc 57190430695](https://orcid.org/0000-0002-2178-5033), <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>, [oltyan@vniigochs.ru](mailto:oltyan@vniigochs.ru)

**Ниязова Юлия Михайловна** — кандидат экономических наук, доцент, Московский государственный университет геодезии и картографии, Москва, 105064, Российская Федерация, [sc 57224322917](https://orcid.org/0000-0001-5589-4855), <https://orcid.org/0000-0001-5589-4855>, [y\\_niyazova@edu.miigaik.ru](mailto:y_niyazova@edu.miigaik.ru)

**Злыднев Иван Михайлович** — аспирант, Научно-исследовательский центр информатизации Министерства иностранных дел Российской Федерации, Москва, 119002, Российская Федерация, [sc 57190430695](https://orcid.org/0009-0006-0112-2634), <https://orcid.org/0009-0006-0112-2634>, [zlydnev\\_i@classcom.ru](mailto:zlydnev_i@classcom.ru)

## Authors

**Mikhail I. Lomakin** — D.Sc., D.Sc. (Economics), Professor, Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia, Moscow, 121352, Russian Federation, [sc 7003352786](https://orcid.org/0000-0003-4191-1348), <https://orcid.org/0000-0003-4191-1348>, [mlomakin@yandex.ru](mailto:mlomakin@yandex.ru)

**Alexander V. Dokukin** — D.Sc. (Economics), Chief Researcher, All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia, Moscow, 121352, Russian Federation, [sc 56161047500](https://orcid.org/0000-0002-3342-8770), <https://orcid.org/0000-0002-3342-8770>, [aldokukin@yandex.ru](mailto:aldokukin@yandex.ru)

**Irina Yu. Oltyan** — PhD, Scientific Secretary, All-Russian Scientific Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of the Russia, Moscow, 121352, Russian Federation, [sc 57190430695](https://orcid.org/0000-0002-2178-5033), <https://orcid.org/0000-0002-2178-5033>, [oltyan@vniigochs.ru](mailto:oltyan@vniigochs.ru)

**Yulia M. Niyazova** — PhD (Economics), Associate Professor, Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, 105064, Russian Federation, [sc 57224322917](https://orcid.org/0000-0001-5589-4855), <https://orcid.org/0000-0001-5589-4855>, [y\\_niyazova@edu.miigaik.ru](mailto:y_niyazova@edu.miigaik.ru)

**Ivan M. Zlydnev** — PhD Student, Scientific Research Center of Informatization of the Ministry of Foreign Affairs of the Russia, Moscow, 119002, Russian Federation, [sc 57190430695](https://orcid.org/0009-0006-0112-2634), <https://orcid.org/0009-0006-0112-2634>, [zlydnev\\_i@classcom.ru](mailto:zlydnev_i@classcom.ru)

Статья поступила в редакцию 23.02.2026  
Одобрена после рецензирования 17.06.2026  
Принята к печати 26.07.2026

Received 23.02.2026  
Approved after reviewing 17.06.2026  
Accepted 26.07.2026



Работа доступна по лицензии  
Creative Commons  
«Attribution-NonCommercial»