

С. Н. Полесский, канд. техн. наук, доц., e-mail: spolessky@hse.ru,
А. В. Востриков, канд. техн. наук, доц., e-mail: avostrikov@hse.ru,
Е. Н. Прокофьева, канд. техн. наук, доц., e-mail: eprokofyeva@hse.ru,
И. И. Романова, ассистент, e-mail: iromanova@hse.ru,

Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

Методика оценки надежности вычислительной техники с учетом влияния отказов вспомогательного оборудования

Традиционно для учета влияния вспомогательных элементов на функционирование основных элементов объекта используется один из двух подходов: либо отказ вспомогательных элементов приводит к отказу всего объекта, либо отказ вспомогательных элементов не учитывается. Первая методика значительно занижает показатели надежности, а вторая, соответственно, их завышает. Методика, предложенная в данной статье, учитывает влияние, оказываемое отказом вспомогательных элементов на условия функционирования основных, что позволяет более точно оценить показатели надежности. В качестве объекта исследования выбран типовой модуль оборудования серверного помещения среднестатистической организации, на основе рассмотрения состава которого были сформированы критерии отказа и построены структурные схемы надежности, демонстрирующие преимущества предложенного подхода.

Ключевые слова: серверное помещение, заземление, вспомогательные элементы, основные элементы, интенсивность отказов, критерии отказов, коэффициент готовности, средняя наработка на отказ

Введение

Развитие современной электроники и информационных технологий позволило обеспечить доступность высокоскоростной вычислительной техники практически во всех уголках земного шара. Основной целью создания серверного помещения является удобное и эффективное расположение всех компонентов в одном месте, чтобы у администратора был централизованный, комфортный и быстрый доступ ко всем комплектующим оборудования для быстрого устранения неполадок в случае возникновения проблем. Также важна защита оборудования от сбоев питания и неблагоприятных климатических условий. Для обеспечения этих условий используется комплекс вспомогательных элементов (ВЭ) [1–3]:

— для поддержания в помещении комфортных климатических условий используется система кондиционирования — сплит-система, которая при активном функционировании серверного оборудования позволяет как охладить, так и нагревать воздух до нужной температуры;

— для отвода накапливаемого статического электричества, которое может привести к сбоям в работе аппаратуры, а также нанести вред человеку при прикосновении к ней, используются комплекты заземлений;

— для освещения в помещении используются галогенные лампы, благодаря которым снижается нагрузка в сети питания и уменьшаются электрические помехи.

Традиционно при проведении расчета показателей надежности технических средств ВЭ принимаются эквивалентными основным элементам (ОЭ) [1, 4, 5], таким образом, критерии отказов ВЭ принимаются за отказ всей системы, что явно значительно занижает результаты расчета [5, 6]. В других случаях ВЭ вовсе не учитываются, что, в свою очередь, наоборот завышает прогнозируемые показатели [7, 8]. Оба этих подхода могут приводить к возрастанию погрешности более чем на 20 % [5]. В связи с этим появляется необходимость разработки методики, которая позволит учитывать условное (нелинейное) влияние ВЭ на функционирование системы с точки зрения надежности и значительно уменьшать погрешность расчетов.

Описание методики проведения расчета показателей надежности

Сформулируем методику проведения расчета показателей надежности вычислительной техники серверного помещения с учетом влияния отказов сервисного оборудования:

1. Формулировка требований к объекту исследования (размеры помещения, наличие розеток, нагрузка на пол, освещение помещения, температура помещения, давление воздуха и т. д.).

2. Выделение основных компонентов объекта исследования (серверное оборудование, сплит-система, розетка, лампа освещения и т. д.).

3. Описание состава комплектов оборудования компонентов объекта исследования.

4. Учет основных требований к компонентам объекта исследования, критически важных для функционирования системы (например, тепловой мощности), и формирование итогового состава оборудования.

5. Определение нормируемых показателей надежности, которые задаются для объекта исследования (коэффициент готовности, средняя наработка на отказ, среднее время восстановления и др.).

6. Формирование окончательных критериев отказа системы.

7. Анализ возможных причин отказа системы и разработка окончательной логической схемы функционирования объекта исследования и RBD-схемы (Reliability Block Diagram) на ее основе.

8. Построение структурных схем надежности для прогнозирования заданных показателей надежности объекта исследования и его составных частей.

9. Выбор математических моделей расчета показателей надежности.

10. Расчет показателей надежности объекта исследования.

Как уже было сказано выше, для повышения точности расчетов на этапе 7 разработанной методики следует учитывать условное влияние ВЭ на функционирование системы. Для этого нами предлагается использовать диаграммы Исикавы, что позволит более точно сформировать критерии отказа системы и, в итоге, повысить точность расчетов.

Рассмотрим применение данной методики на примере типового серверного помещения.

Описание объекта исследования

В качестве объекта исследования рассмотрим наиболее распространенный вариант построения серверного помещения. Серверная — это помещение специального назначения, в котором находится телекоммуникационная аппаратура, которое соединяется с магистралями и считается средством обслуживания

здания. В соответствии со стандартом [1—3, 9] серверное помещение должно отвечать следующим требованиям:

1. Наличие не менее двух электрических розеток с заземлением на каждые три погонных метра любой стены. Серверное помещение имеет размеры 3×4 м (что в соответствии со стандартом является минимальными 12 м^2 , минимальная высота потолка $2,44$ м) и в соответствии со стандартом в ней должно иметься четыре розетки с заземлением, в нашем примере их 6 шт.

2. Максимальная распределенная нагрузка на пол должна составлять 12 кН/м^2 , максимальная сосредоточенная нагрузка — $4,4 \text{ кН/м}^2$.

3. При освещении помещения для снижения электрических помех рекомендуется использовать галогенные лампы, так как они снижают скачки напряжения в электрической сети.

4. Серверное помещение рекомендуется располагать вдали от источников электромагнитного излучения (в местах, где возможно разместить крупногабаритное оборудование, функциональные передатчики, радиооборудование, оборудование для спутниковой связи, теле- и радиостанции).

5. Сплит-система должна поддерживать температуру окружающей среды в диапазоне от $+18$ до $+24$ °C и относительной влажности $30...55$ %.

6. Давление воздуха в серверной должно превышать давление воздуха в соседних помещениях не менее чем на $14,7$ Па, за счет чего в комнату не попадает пыль.

На рис. 1 цифрами отмечены следующие компоненты серверного помещения:

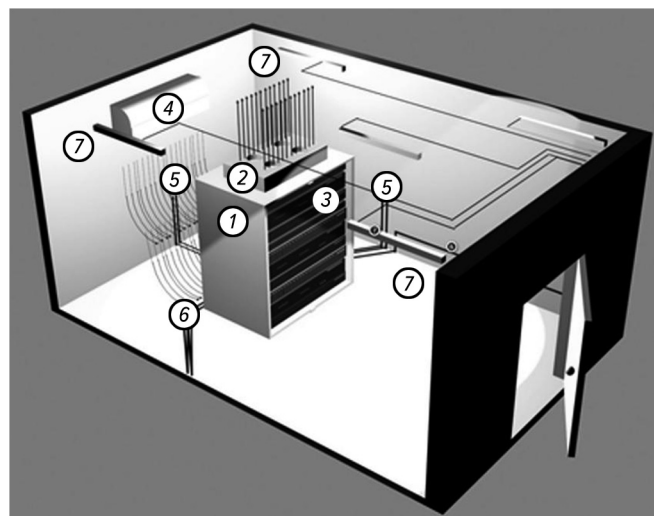


Рис. 1. Схематическое расположение компонентов в помещении

1 — телекоммуникационный шкаф; 2 — вентиляторный блок в крышу телекоммуникационного шкафа; 3 — серверное оборудование (подробное описание приведено ниже); 4 — сплит-система; 5 — двойная розетка; 6 — кабель защитного заземления; 7 — люминесцентная лампа.

С учетом требований стандартов [1–3] телекоммуникационные шкафы подлежат заземлению как металлические конструкции, которые при пробое изоляции токоведущих частей могут оказаться под напряжением. Для безопасного заземления используется медная шина заземления 19" дюймов и комплект проводов заземления для телекоммуникационного шкафа.

Состав заземления серверной стойки согласно [2]:

1. Комплект проводов заземления для телекоммуникационного шкафа [9], состоящий из набора соединительных проводников с крепежом для электрического заземления элементов конструкции шкафа. Каждый конструктивный элемент шкафа (каркас, боковые панели, дверь) имеет специальный заземляющий контакт.

2. Шина заземления предназначена для централизованного подключения 19" заземляющих проводников оборудования, устанавливаемого в шкафах и стойках. Шина выполнена из медной никелированной полосы толщиной 3,2 мм и шириной 25,4 мм и имеет 11 крепежных штырей, укомплектованных шайбами, гроверами и гайками.

Провод соединяется посредством болтового соединения с существующей в здании телекоммуникационной шиной заземления. Категорически запрещается соединение нескольких шкафов одним заземляющим проводником последовательно, так как это чревато разрывом линии заземления и опасно для жизни человека.

В качестве примера рассмотрим вариант размещения в телекоммуникационном шкафу трех одинаковых серверов (рис. 2). Сервер № 1 используется в качестве веб-сервера, на котором расположена серверная компонента приложения с веб-интерфейсом, база данных приложения и каталог с файлами, поступившими на обработку. Данный сервер имеет два жестких диска, объединенных с использованием технологии RAID 1 для высокой производительности и надежности, так как в случае утери информация, поступающая с многочисленных клиентских АРМ, будет трудно восстановима. Сервер № 2 является архивным, в него попада-

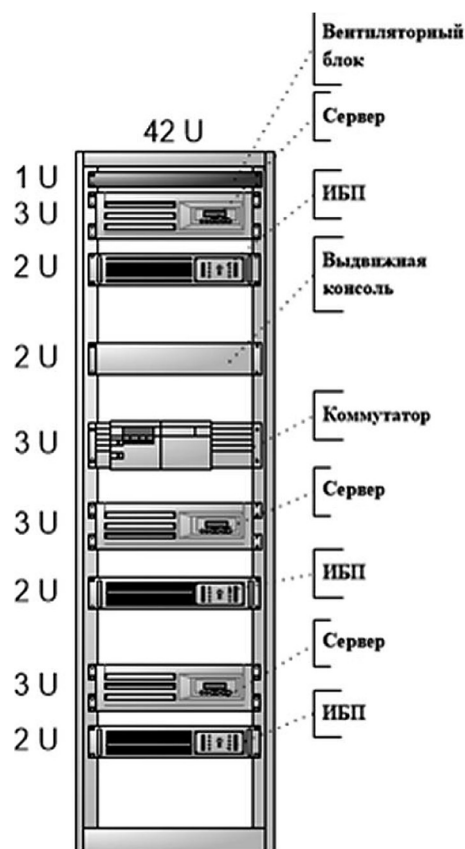


Рис. 2. Состав серверной стойки

ет информация, обработанная сервером № 1. Он также имеет RAID 1, состоящий из двух жестких дисков. Сервер № 3 является сетевым хранилищем компании, на нем находятся виртуальные стенды, дистрибутивы и документация компании, серверное веб-приложение для управления проектами и задачами, данный сервер также защищен RAID 1.

Для защиты серверного оборудования от сбоев питания используется источник бесперебойного питания (ИБП) мощностью 3 кВа.

Для организации сети используется управляемый коммутатор.

Для управления и мониторинга функционирования компонентов серверной стойки используется выдвижная KVM-консоль в стойку 19", 2U.

Для поддержания длительной бесперебойной работы телекоммуникационного оборудования применяются средства обеспечения благоприятных климатических условий. Рекомендуемая температура окружающей среды для работы компонентов сервера выбирается из диапазона + 20...+ 25 °С. При выборе сплит-системы, которая будет обеспечивать подобные условия,

в первую очередь необходимо учитывать общую тепловую нагрузку в серверном помещении.

Тепловую мощность традиционно измеряют в ваттах (Вт), но мы будем использовать БТЕ (Британская термическая единица), поскольку в паспортах на покупные изделия иностранного производства тепловая мощность указана в БТЕ. При приближенном расчете тепловая мощность в 1 Вт будет составлять 3,41 БТЕ /ч [9]. Таким образом, чтобы рассчитать общую тепловую нагрузку всего серверного помещения, необходимо знать тепловую энергию каждой составляющей (табл. 1).

Таблица 1

Тепловая мощность комплектующих серверного помещения

№ п/п	Наименование элемента	Тепловая мощность, БТЕ	Примечания
1	Сервер	3410	на 1 шт.;
2	Коммутатор	46,1714	на 1 шт.;
3	Лампа галогенная	341	на 1 шт.;
4	Системный администратор	300,08	на 1 чел.

Таблица 2

Состав типовой стойки серверного помещения

№ п/п	Наименование элемента	Количество
1	Розетка электрическая	6 шт.
2	ИБП	3 шт.
3	Коммутатор	1 шт.
4	Вентиляторный блок	1 шт.
5	Материнская плата	3 шт.
6	Процессор	3 шт.
7	Карта памяти	3 шт.
8	Жесткий диск	6 шт.
9	DVD-RW привод	3 шт.
10	ИВЭП*	3 шт.
11	Сетевой кабель ftp5e	5 м
12	Кабель питания	9 м
13	Выдвижная консоль	1 шт.
14	Лампа галогенная	5 шт.
15	Сплит-система	1 шт.
16	Комплект заземления	1 шт.

*ИВЭП — источник вторичного электропитания.

Так как используемый телекоммуникационный шкаф имеет вентиляторный блок (рис. 2), то при расчете тепловой нагрузки мощностью тепловыделения оборудования в шкафу можно пренебречь.

Серверное помещение не имеет окон, находится на теневой стороне здания на первом этаже, поэтому прочей тепловой нагрузкой также можно пренебречь. В итоге рассчитанная общая тепловая нагрузка в соответствии с составом серверной будет вычисляться по формуле

$$\begin{aligned}
 P_{\text{общ}} &= 3P_1 + P_2 + 5P_3 + 2P_4 = \\
 &= 3 \cdot 3410 + 46,1714 + 5 \cdot 341 + 2 \cdot 300,08 = \\
 &= 12\,581,3314 \text{ БТЕ},
 \end{aligned}$$

где P_i — тепловая мощность i -й составляющей согласно табл. 1. При пересчете общей тепловой мощности в Вт полученное значение составит около 3,7 кВт. Рекомендуемая мощность охлаждения сплит-системы при данной нагрузке составляет 3,5 кВт. На основании данных работы [1] идеальная влажность для серверного помещения 40...50 % (при низкой влажности возникают проблемы с электростатическими зарядами, при высокой влажности — окисление контактов и замыкание). Для регулирования влажности в серверной сплит-система должна иметь функцию осушения воздуха. Исходя из полученных показателей рекомендуется использовать сплит-систему, например компании "Daikin", которая имеет инвертор, что обеспечивает ее надежность, охлаждение 3,8 кВт, обогрев 4,8 кВт, а также имеется программная осушка воздуха, что позволяет бороться как с избыточной, так и с недостаточной влажностью воздуха.

Таким образом, на основании вышеприведенного анализа получаем следующий итоговый состав оборудования (табл. 2).

Показатели надежности и критерии отказов объекта

В первую очередь необходимо определить, какие из нормируемых показателей надежности будут задаваться для таких систем. На основании описаний из нормативной документации [10—12] регламентируется порядок выбора показателей надежности. Исходя из того, что оборудование серверного помещения относится к изделиям общего назначения, циклического применения, восстанавливаемым и обслуживаемым, задаются следующие показатели:

- коэффициент готовности (K_T);
- средняя наработка на отказ (T_0) или среднее время восстановления (τ_B).

Рассмотрим три возможных варианта для проведения расчета показателей надежности (табл. 3):

- первый случай — традиционный, когда ВЭ не учитывается (принимается абсолютно надежным);
- второй случай — традиционный, в котором, в отличие от первого случая, ВЭ оказывает влияние на показатели надежности всей системы, как и ОЭ;
- третий случай — инновационный, при котором учитывается условное влияние ВЭ на функционирование ОЭ.

На основе итогового состава (табл. 2), полного описания функционирования, а также диаграммы Исикавы формируем критерии отказа системы, основываясь на работе [14].

К отказу системы приводит отказ ОЭ, в том числе: отказ резервной группы (отказ четырех

и более розеток); отказ любого из ИБП; отказ коммутатора; отказ вентиляционного блока; отказ любого из серверов; отказ выдвижной консоли; отказ любого из кабелей питания.

Критерии отказа сервера: отказ материнской платы; отказ процессора; отказ обоих жестких дисков; отказ DVD-RW привода; отказ ИВЭП; отказ сетевого кабеля; отказ кабеля питания.

Таким образом, на основании критериев отказа формируются общие схемы функционирования стойки серверного помещения для всех трех случаев, описанных выше, где в момент времени $t = \tau$ наступает отказ ВЭ. Пункты 1 и 2 (табл. 3) иллюстрируют традиционный подход к решению данной задачи. При применении описываемой методики ОЭ и ВЭ не являются соединенными последовательно, и отказ ВЭ не приводит к отказу ОЭ. Однако при отказе ВЭ ухудшатся условия эксплуатации ОЭ, что впоследствии приводит к возрастанию вероятности его отказа.

Таблица 3

RBD-схемы, составленные на основе логических моделей

№	Логические модели	RBD-схемы
1		
2		
3		

Примечание: RBD-схемы для всех случаев построены на основании работ [11, 15–17]. В логических моделях черным цветом отмечены блоки, которые находятся в состоянии отказа, серым цветом — в состоянии ухудшения условий эксплуатации (экстремальные условия), белым цветом — в состоянии работоспособности.

Структурные схемы надежности серверной стойки

Для прогнозирования заданных показателей надежности вышеприведенного объекта необходимо построение структурной схемы надежности (ССН). Далее на основании [13] формируется ССН всей системы и ее составных частей (СЧ).

На основании критериев отказа, а также итогового состава стойки серверного помещения, приведенного в табл. 2, строится ССН ОЭ, приведенная на рис. 3, состоящая из последовательно соединенных группы нагруженного резерва из трех основных и трех резервных элементов, двух групп, содержащих по три последовательно соединенных элемента, одной группы из двух последовательно соединенных элементов, а также двух нерезервированных элементов [11, 15, 17–20].

На рис. 4 подробно представлена ССН сервера, состоящая из последовательно соединенных семи элементов и однократного нагруженного резерва.

На рис. 5 более подробно показана ССН ВЭ, в состав которой входят последовательно соединенные два элемента, одна группа нагруженного резерва из одного основного и четырех резервных элементов и одна группа нагруженного резерва из двух основных и двух резервных элементов.

Математические модели расчета показателей надежности

В качестве требуемых показателей надежности серверного помещения в нашем случае заданы коэффициент готовности и средняя

наработка на отказ [10, 12]. В табл. 4 представлены математические модели расчета показателей всего объекта для каждого случая.

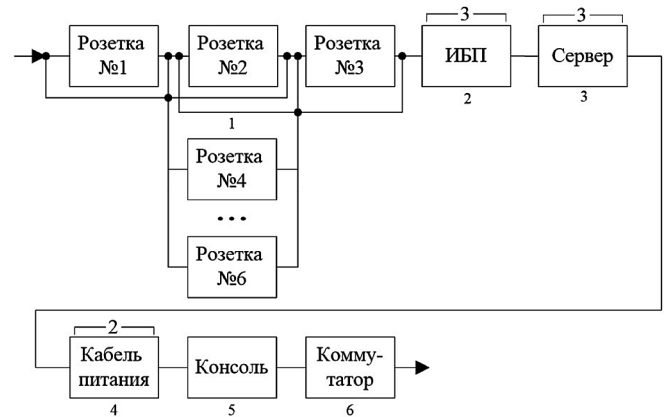


Рис. 3. ССН СЧ ОЭ

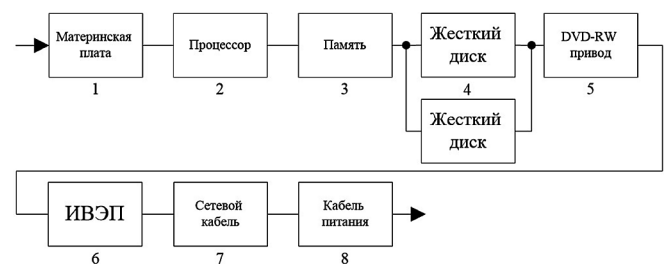


Рис. 4. ССН СЧ сервера

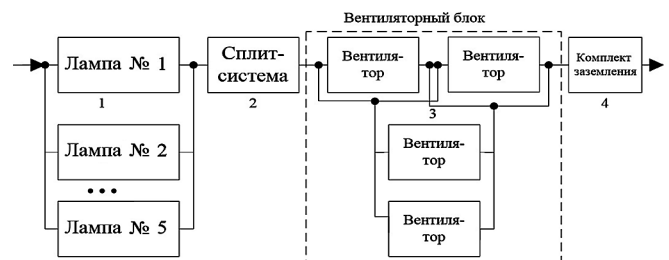


Рис. 5. ССН СЧ ВЭ

Таблица 4

Математические модели расчета ПН

Номер схемы	Математические модели (источник)	
	K_r	T_0
1	$K_r = K_{rOЭ}$ [5]	$T_0 = \int_0^{\infty} e^{-\frac{t}{T_{0OЭ}}} dt$ [19]
2	$K_r = K_{rOЭ} K_{rBЭ}$ [14, 21]	$T_0 = \int_0^{\infty} e^{-t \left(\frac{1}{T_{0OЭ}} + \frac{1}{T_{0BЭ}} \right)} dt$ [4, 11]
3	$K_r = \frac{T_{0OЭ}}{T_{0OЭ} + \tau_{BЭ}}$ [7, 16]	$T_0 = \int_0^{\infty} \left[e^{-t \left(\frac{1}{T_{0OЭ}} + \frac{1}{T_{0BЭ}} \right)} + \frac{t}{T_{0OЭ}} \int_0^t e^{-\tau \left(\frac{1}{T_{0BЭ}} + \frac{1}{T_{0OЭ}} + \frac{1}{T_{0OЭ2}} \right)} d\tau \right] dt$ [7, 18]

В табл. 4 используются следующие обозначения:

- $K_{ГОЭ}$ — коэффициент готовности ОЭ;
- $K_{ГВЭ}$ — коэффициент готовности ВЭ;
- $T_{0ОЭ}$ — средняя наработка на отказ ОЭ при $t_{окр} = 25\text{ }^\circ\text{C}$;
- $T_{0ВЭ}$ — средняя наработка на отказ ВЭ;
- $\tau_{вОЭ}$ — среднее время восстановления ОЭ;
- $T_{0ОЭ2}$ — средняя наработка на отказ ОЭ при $t_{окр} = 50\text{ }^\circ\text{C}$.

Согласно спецификации и ССН оборудования серверной стойки были идентифицированы такие параметры надежности элементов, как интенсивность отказа (ИО) СЧ ОЭ при $t_{окр} = 25\text{ }^\circ\text{C}$, полученные с сайтов производителей элементов или их аналогов, а также пересчитаны ИО СЧ ОЭ при $t_{окр} = 40\text{ }^\circ\text{C}$ по формуле

$$\lambda_{50\text{ }^\circ\text{C}} = \lambda_{25\text{ }^\circ\text{C}} e^{\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{t_{окр2}} - \frac{1}{t_{окр1}} \right) \right]},$$

где E_a — энергия активации (эВ);

k — постоянная Больцмана, равная $8,61733035 \cdot 10^{-5}$ (эВ·К);

$t_{окр1}$ — температура окружающей среды в серверном помещении до отказа ВЭ ($25\text{ }^\circ\text{C}$);

$t_{окр2}$ — температура окружающей среды в серверном помещении после отказа ВЭ ($40\text{ }^\circ\text{C}$).

Кроме того, с использованием экспертного метода, подробное описание которого приведено в работах [4, 7, 11, 21, 22], было определено среднее время восстановления всех СЧ.

Результаты расчета

При использовании исходных данных (табл. 5) и математических моделей (см. табл. 4) были рассчитаны коэффициент готовности и средняя наработка на отказ рассматриваемого объекта для всех случаев трех случаев (см.

Таблица 5

Значения ИО и времени восстановления СЧ объекта

№ п/п	Наименование элемента расчета ССН	$\lambda \cdot 10^6$, 1/ч		$\tau_{в}$, ч	Примечания
		$t_{окр1}$	$t_{окр2}$		
ОЭ					
1	Розетка электрическая	5,0	55,0	0,5	на 1 шт.
2	ИБП	12,5	137,5	0,5	на 1 шт.
3	Коммутатор	1,3535682767	14,889251044	0,5	на 1 шт.
4	Вентилятор	19,02587519	209,28462709	0,5	на 1 шт.
5	Материнская плата	9,2082727122	101,290999834	1,0	на 1 шт.
6	Процессор	2,2357735519	24,593509071	0,5	на 1 шт.
7	Карта памяти	0,3234399521	3,557839473	0,5	на 1 шт.
8	Жесткий диск	0,5	5,5	0,5	на 1 шт.
9	DVD-RW привод	28,571428571	314,285714281	0,5	на 1 шт.
10	ИВЭП	10,0	110,0	0,5	на 1 шт.
11	Сетевой кабель	0,7610350076	8,371385084	0,2	на 1 м
12	Кабель питания	38,0	418,0	0,2	на 1,8 м
ВЭ					
13	Выдвижная консоль	11,4155251	—	0,5	на 1 шт.
14	Лампа галогенная	500,0	—	0,1	на 1 шт.
15	Сплит-система	100,0	—	1,0	на 1 шт.
18	Комплект заземления	5,96	—	0,5	на 1 шт.

Примечание: $\tau_{в}$ взято из опыта эксплуатации и ремонта аналогичных изделий.

Таблица 6

Результаты расчетов

Номер схемы	K_r	T_0	δ , %	Примечания
1	0,9998471461	2541	19,802	Погрешности самих математических моделей не учтены
2	0,9997441422	2000	5,705	
3	0,9998169439	2121	—	

табл. 3), а также была проведена оценка относительной погрешности расчетов (табл. 6).

Заключение

Проанализировав полученные численные значения показателей надежности стойки серверного помещения (табл. 6), можно сделать вывод о том, что случай, учитывающий влияние отказа ВЭ на отказ ОЭ, позволяет наиболее прецизионно подходить к оценке коэффициента готовности и средней наработки на отказ. Причиной этого является, во-первых, отсутствие учета влияния ВЭ при рассмотрении первого случая (RBD-схема № 1 (см. табл. 3), относительная погрешность — 19,802 %), что приводит к сильно завышенному значению наработки на отказ, и, во-вторых, достаточно грубое предположение, что отказ ВЭ ведет к непосредственному отказу всей системы (RBD-схема № 2 (см. табл. 3), относительная погрешность — 5,705 %). На деле отказ ВЭ приводит только к ухудшению условий функционирования ОЭ, что хотя и сокращает его наработку, но не является причиной отказа. Третий случай (RBD-схема № 3 (табл. 3)) позволяет преодолеть недостатки двух предыдущих рассмотренных случаев, т. е. показать зависимость отказа ОЭ от отказа ВЭ. Проведенный расчет наработки на отказ для третьего случая показал, что ее значение попадет в границы, заданные двумя предыдущими случаями: верхней границей является первый случай (RBD-схема № 1), а нижней — второй (RBD-схема № 2). Причины этого вполне очевидны и описаны ранее в статье. Это свидетельствует о том, что предлагаемая методика учета влияния отказа ВЭ позволяет дать наиболее точную оценку заданным показателям надежности исследуемого объекта. Оцененные погрешности показывают, насколько полученные значения наработки на отказ первых двух случаев (RBD-схемы № 1 и № 2) отличаются от значения для третьего случая. Исходя из этого

можно сделать вывод, что необходимо учитывать ВЭ при оценке показателей надежности объектов (иначе это приводит к завышенным результатам), но излишне прямолинейный учет приводит к занижению результатов.

Список литературы

1. Стандарт ANSI/TIA/EIA-569-A. Телекоммуникационные трассы и помещения коммерческих зданий, 1998.
2. **Электроустановок** правила устройства, изд. 7. М.: НГЭС "ЭНАС", 2003. 168 с.
3. Стандарт ANSI/TIA/EIA-607. Требования к телекоммуникационной системе выравнивания потенциалов и заземления коммерческих зданий, 1994.
4. **Beichelt F.** Reliability and Maintenance: Networks and Systems. Chapman and Hall / CRC, 2012. 344 p.
5. **Жаднов В. В., Полесский С. Н.** Определение показателей надежности систем, обладающих вспомогательными элементами. Сборник научных трудов "Проектирование телекоммуникационных и информационных средств и систем". М.: МИЭМ, 2006. С. 151–158.
6. **Garcia A. C., Prijevor L. P.** Reliability Modeling Prediction. DQM Research Centre, 2016. 186 p.
7. **Черкесов Г. Н.** Надежность аппаратно-программных комплексов. Учебное пособие. СПб.: Питер, 2005. 479 с.
8. **Жаднов В. В., Тихменев А. Н.** Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств // Надежность. № 1. 2013. С. 32–54.
9. Стандарт JIS Z 8101–99. Статистика. Словарь и условные обозначения, 1999.
10. **ГОСТ 27.003–2016** Надежность в технике (ССНТ). Состав и общие правила задания требований по надежности. 2016.
11. **MIL-HDBK-338B.** Electronic reliability design handbook, 1998.
12. **ГОСТ 27.002–2015** Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. 2015
13. **Метод** "Диаграмма Исикавы" [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.inventech.ru/pub/methods/metod-0019/> (дата обращения: 29.09.2018).
14. **Похабов Ю. П.** Обеспечение надежности уникальных высокоответственных систем. Надежность. № 24 (3). 2017. С. 17–23.
15. **ГОСТ Р 51901.14–2007** (МЭК 61078:2006). Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы, 2007.
16. **Băjenescu T., Băzu M.** Component Reliability for Electronic Systems. London: Artech House, 2010. 354 p.
17. **Swingler J.** Reliability Characterisation of Electrical and Electronic Systems, 1st Edition. UK: Woodhead Publishing, 2015. 274 p.
18. **Половко А. М., Гуров С. В.** Основы теории надежности. СПб.: БХВ—Петербург, 2006. 702 с.
19. **Ушаков И. А.** Курс теории надежности систем. Учебное пособие. М.: Дрофа, 2008. 239 с.
20. **James Li.** Reliability calculation of a parallel redundant system with different failure rate & repair rate using Markov modeling // Journal of Reliability and Statistical Studies. Vol. 9. Issue 1. 2016. P. 1–10.
21. **O'Connor P., Kleyner A.** Practical Reliability Engineering, 5th Edition. Wiley, 2012. 512 p.
22. **Diveev A. I., Sofronova E. A.** The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation // Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications. Croatia: Intech, 2012. P. 19–42.

S. N. Polesskij, Ph. D., associate professor, e-mail: spolessky@hse.ru,
A. V. Vostrikov, Ph. D., associate professor, e-mail: avostrikov@hse.ru,
E. N. Prokof'eva, Ph. D., associate professor, e-mail: eprokofyeva@hse.ru,
I. I. Romanova, assistant professor, e-mail: iromanova@hse.ru,
National Research University "Higher School of Economics"

Methods of Assessing the Reliability of Computing with Due Account for the Failure Effect of Auxiliary Equipment

Traditionally, when taking into account the influence of auxiliary elements on the operation of main elements of an object, one of two approaches is used: either the failure of auxiliary elements leads to the failure of the entire object, or the failure of auxiliary elements is not taken into account. The first method significantly underestimates the reliability indicators, and the second, respectively, overestimates them. The method, proposed in the article, takes into account the failure effect of the auxiliary elements on the operating conditions of the main ones, which allows us to more accurately assess the reliability indicators. As a research object, a typical module of equipment of the server room of an average organization was chosen; based on consideration of its structure, failure criteria were formed, and structural reliability schemes, demonstrating the advantages of the proposed approach, were constructed.

Keywords: server room, grounding, auxiliary elements, basic elements, failure rate, failure criteria, availability factor, mean time between failures.

DOI: 10.17587/it.25.241-249

References

1. ANSI/TIA/EIA-569-A standard. *Telekommunikacionnyye trassy i pomescheniya kommercheskih zdaniy* (Telecommunication routes and premises of commercial buildings), 1998. (in Russian).
2. *Jelektroustanovok, pravila ustrojstva, izd. 7* (Electrical installations, device rules, ed. 7), Moscow, NGS "JeNAS", 2003, 168 p. (in Russian).
3. ANSI/TIA/EIA-607 standard. *Trebovaniya k telekommunikacionnoj sisteme vyrvnivanija potencialov i zazemleniya kommercheskih zdaniy* (Requirements for telecommunication potential equalization and grounding of commercial buildings), 1994 (in Russian).
4. Beichelt F. *Reliability and Maintenance: Networks and Systems*, Chapman and Hall, 2012. 344 p.
5. Zhadnov V. V., Polessky S. N. *Opreделение pokazatelej nadjozhnosti sistem, obladajushihh vspomogatel'nyimi jelementami* (Determination of reliability indicators of systems with auxiliary elements), *Sbornik nauchnyh trudov "Proektirovanie telekommunikacionnyh i informacionnyh sredstv i sistem"*, M.: MIEM, 2006, pp. 151–158 (in Russian).
6. Garcia A. C., Prijedor L. P. *Reliability Modeling Prediction*, DQM Research Centre, 2016. 186 p.
7. Cherkosov G. N. *Nadezhnost' apparatno-programnyh kompleksov. Uchebnoe posobie* (Reliability of hardware and software systems. Tutorial) / SPb.: Piter, 2005. 479 p. (in Russian).
8. Zhadnov V. V., Tihmenev A. N. *Imitacionnoe modelirovanie v zadachah ocenki nadezhnosti otkazoustojchivyh jelektronnyh sredstv* (Simulation modeling in problems of reliability assessment of fault-tolerant electronic devices), *Nadezhnost'*, no. 1, 2013, pp. 32–54 (in Russian).
9. JIS Z 8101–99 standard. *Statistika. Slovar' i uslovnye oboznamenija* (Statistics. Vocabulary and Legend), 1999 (in Russian).
10. GOST 27.003–2016. *Nadezhnost' v tehnike (SSNT). Sostav i obshhie pravila zadaniya trebovanij po nadezhnosti* (Reliability in engineering (VAST). Composition and general rules for setting reliability requirements), 2016 (in Russian).
11. MIL-HDBK-338B. *Electronic reliability design handbook*, 1998.
12. GOST 27.002–2015. *Nadezhnost' v tehnike (SSNT). Terminy i opredelenija* (Reliability in engineering (VAST). Terms and Definitions.), 2015 (in Russian).
13. *Metod "Diagramma Isikavy"* (Ishikawa Chart Method), available at: <http://www.inventech.ru/pub/methods/metod-0019/> (date of access: 29.09.2018).
14. Pohabov Ju. P. *Obespechenie nadezhnosti unikal'nyh vysokootvetstvennyh sistem* (Ensuring the reliability of unique highly responsible systems. Reliability). *Nadezhnost'*, vol. 24 (3), 2017, pp. 17–23 (in Russian).
15. GOST R 51901.14–2007 (MJeK 61078:2006). *Menedzhment riska. Strukturnaja shema nadezhnosti i bulevy metody* (Risk management. Reliability block diagram and boolean methods), 2007 (in Russian).
16. Băjenescu T., Băzu M. *Component Reliability for Electronic Systems*, London, Artech House, 2010, 354 p.
17. Swingler J. *Reliability Characterisation of Electrical and Electronic Systems, 1st Edition*, UK, Woodhead Publishing, 2015, 274 p.
18. Polovko A. M., Gurov S. V. *Osnovy teorii nadezhnosti* (Fundamentals of the theory of reliability), SPb., BHV Peterburg, 2006, 702 p. (in Russian).
19. Ushakov I. A. *Kurs teorii nadezhnosti sistem. Uchebnoe posobie* (Course theory of system reliability. Tutorial), Moscow, Drofa, 2008, 239 p. (in Russian).
20. James Li. Reliability calculation of a parallel redundant system with different failure rate&repair rate using Markov modeling, *Journal of Reliability and Statistical Studies*, vol. 9, iss. 1, 2016, pp. 1–10.
21. O'Connor P., Kleyner A. *Practical Reliability Engineering, 5th Edition* / Wiley, 2012. 512 p.
22. Diveev A. I., Sofronova E. A. *The Network Operator Method for Search of the Most Suitable Mathematical Equation, Bio-Inspired Computational Algorithms and Their Applications*, Croatia: Intech, 2012, pp. 19–42.