

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ С УЧЁТОМ УСТОЙЧИВЫХ И ВРЕМЕННЫХ ОТКАЗОВ ЕЁ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Батура А.А.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Боровиков С.М. – канд.техн.наук, доцент, доцент кафедры ПИКС

Аннотация. На примере одного из помещений небольшого банковского учреждения показано, как при расчёте надёжности электронной системы безопасности, обеспечивающей защиту материальных ценностей от хищения, можно учесть устойчивые и временные отказы функциональных устройств системы.

Ключевые слова: электронная система безопасности, функциональные устройства, надёжность, устойчивые отказы, временные отказы.

Введение. Устойчивые отказы функциональных устройств электронной системы безопасности (ЭСБ) являются следствием возникновения неисправности в устройстве. Проявляются эти отказы в виде потери устройством работоспособного состояния, если в устройстве не предусмотрено резервирование. Восстановление работоспособного состояния устройства в этом случае обеспечивается путём проведения его ремонта, включающего обнаружение неисправного элемента или функциональной части устройства и их замену заводом исправными. Временные отказы, называемые сбоями [1], представляют собой кратковременную потерю устройством работоспособного состояния вследствие действия естественных (гроза, молния, ураганные порывы ветра и т.д.) или искусственных (электромагнитное излучение мощных промышленных установок, помехи по сети электропитания, умышленные действия нарушителей и т.п.) дестабилизирующих факторов. После окончания действия дестабилизирующего фактора или снижения его уровня до значения, которое не вызывает нестабильную работу функциональных частей системы, работоспособное состояние устройства восстанавливается без выполнения ремонта, либо при незначительном вмешательстве оператора путём перезагрузки программного обеспечения (для программируемых вычислительных устройств). При классическом расчёте надёжности ЭСБ обычно учитывают устойчивые отказы её функциональных устройств [2, 3]. Неучёт возможных временных отказов приводит к тому, что расчётная вероятность безотказной работы системы и, следовательно, вероятность защиты объекта с помощью ЭСБ оказываются выше реальных эксплуатационных значений, что может проявиться на степени защищённости объекта при его функционировании. При расчёте надёжности ЭСБ важно принять во внимание не только устойчивые отказы функциональных устройств системы, но и их возможные временные отказы при эксплуатации системы в реальных условиях.

В данной статье автором на конкретном примере показано, как при расчёте надёжности ЭСБ можно учесть одновременно и устойчивые и временные отказы составных функциональных устройств системы.

Основная часть. Объектом защиты является небольшое банковское учреждение, рассматриваемое в лабораторной работе по учебной дисциплине «Теоретические основы проектирования электронных систем безопасности» [4]. Задача ЭСБ состоит в том, чтобы обнаружить несанкционированное проникновение нарушителя в здание и дать команду исполнительным устройствам и охране (операторам – ОП) на ликвидацию угрозы. В состав ЭСБ входят следующие функциональные устройства:

- ударозвуковые датчики разбития стекла (У), устанавливаются на окна;
- магнитоконтактные датчики (М), устанавливаются на дверях;
- инфракрасные датчики (ИК), устанавливаются в комнатах;

- видеокамеры (ВК), устанавливаются в коридорах и рассматриваются как разновидности датчиков;
- микропроцессорное приёмно-контрольное устройство (МП);
- видеорегистратор (ВР);
- пульт управления (ПУ).

Устройства МП, ВР и ПУ установлены в помещении охраны. Схема помещений здания, места операторов (охраны) и размещение функциональных устройств системы показаны на рисунке 1.

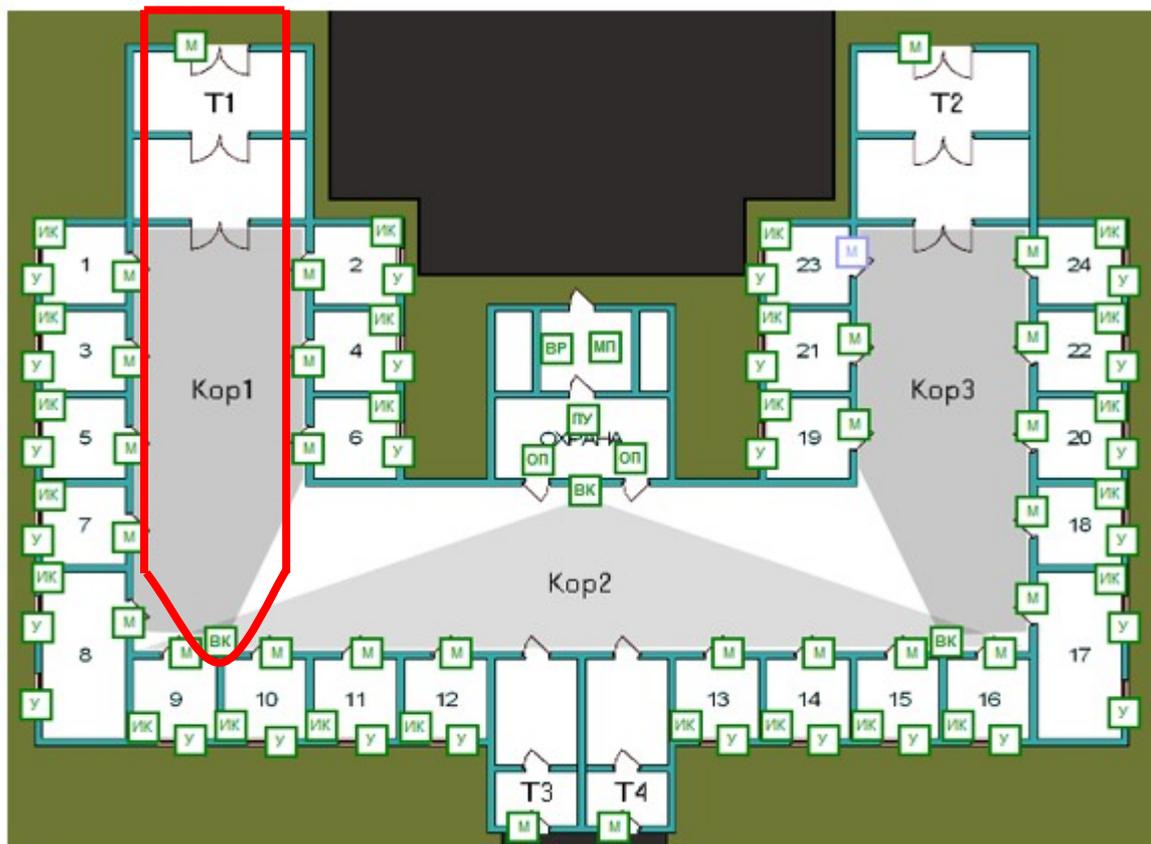


Рисунок 1 – План объекта защиты и размещения устройств электронной системы безопасности

Защита объекта заключается в обнаружении датчиками и видеокамерами факта проникновения нарушителя, передаче сигналов, сформированных ими, для обработки устройствами МП и ВР с последующей выдачей управляющих сигналов операторам (охране) на устройство ПУ. Ликвидации возникшей угрозы осуществляется действиями работников охраны.

Покажем, как можно одновременно учесть устойчивые и временные отказы устройств ЭСБ на примере подсистемы, контролирующей выделенную жирной линией область в левой стороне здания (см. рисунок 1). Обозначим эту подсистему как «Т1–Кор1». Она включает следующие устройства:

- датчик М, установленный на входной двери тамбура Т1;
- видеокамеру ВК, установленную в коридоре Кор1 и контролирующую выход из тамбура Т1 и вход в комнаты 1–8;
- устройство ВР, записывающее изображение, фиксирующее видеокамерой ВК;
- устройство МП, обрабатывающие сигналы, поступающие от датчика М.

Устройства МП и ВР, входящие в состав подсистемы «Т1–Кор1», установлены в помещении, где располагаются операторы (охрана).

Структурная схема надёжности (СН) [5], построенная для рассматриваемой подсистемы «Т1–Кор1» на основе учёта выполнения подсистемой своих функций по защите

объекта (восприятия факта проникновения нарушителя в коридор Кор1 через тамбур Т1) показана на рисунке 2.

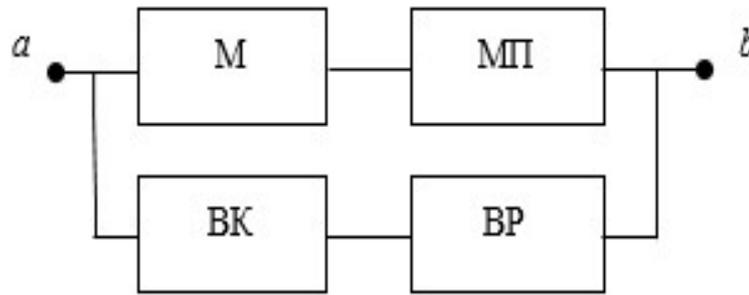


Рисунок 2 – ССН для подсистемы «Т1–Кор1»

Устойчивый или временный отказ любого устройства означает появление обрыва в соответствующем месте структурной схемы надёжности. Подсистема «Т1–Кор1» полностью теряет способность воспринять сигнал о проникновении нарушителя, если на схеме (см. рисунок 2) от точки a до точки b нет замкнутого пути. Для расчёта вероятности работоспособного состояния подсистемы «Т1–Кор1», то есть вероятности обнаружения подсистемой нарушителя (обозначим эту вероятность через $P_{Т1-Кор1}$) может быть использована формула [2, 4]

$$P_{Т1-Кор1} = 1 - (1 - P_M P_{МП}) (1 - P_{МК} P_{ВР}). \quad (1)$$

В формуле (1), после знака равенства, буквой P обозначены вероятности работоспособного состояния составных частей подсистемы с учётом как устойчивых, так и временных отказов, а по нижним индексам интуитивно понятно, к каким устройствам относятся указанные вероятности.

Возможные состояния любой электронной системы безопасности определяются состояниями работоспособности и неработоспособности устройств, входящих в рассматриваемую систему. В подсистему «Т1–Кор1» входят устройства М, МК, МП и ВР. Каждое из них в любой момент времени (в случае отсутствия резервирования) может находиться в состоянии работоспособности или же состоянии неработоспособности. Количество возможных состояний подсистемы определится как 2^n , где n – количество устройств, входящих в подсистему. В нашем случае число состояний (обозначим через N) подсистемы «Т1–Кор1» $N = 2^4 = 16$.

Формула расчёта вероятности конкретного i -го состояния подсистемы «Т1–Кор1» принимает вид (вероятность i -го состояния обозначена через h_i)

$$h_i = s(M) \cdot s(МК) \cdot s(МП) \cdot s(ВР), \quad (2)$$

где $s(j)$ – вероятность, характеризующая техническое состояние (работоспособное или неработоспособное) j -го устройства подсистемы «Т1–Кор1»; $j \rightarrow M, МК, МП, ВР$.

Для выполнения расчётов по формуле (2) можно воспользоваться символическими обозначениями состояний подсистемы и функциональных устройств, входящих в эту подсистему (таблица 1).

Таблица 1 – Возможные состояния подсистемы «Т1–Кор1»

Номер состояния	Символическое обозначение состояния подсистемы	Состояние работоспособности устройств подсистемы				Формула определения вероятности технического состояния h_i	Коэффициент работоспособности состояния $\Phi_i = \Phi(XXXX)$
		М	ВК	МП	ВР		
1	1111	1	1	1	1	$r(М) \cdot r(ВК) \cdot r(МП) \cdot r(ВР)$	$\Phi(1111)$
2	1110	1	1	1	0	$r(М) \cdot r(ВК) \cdot r(МП) \cdot [1 - r(ВР)]$	$\Phi(1110)$
3	1101	1	1	0	1	$r(М) \cdot r(ВК) \cdot [1 - r(МП)] \cdot r(ВР)$	$\Phi(1101)$
...
16	0000	0	0	0	0	$[1 - r(М)] \cdot [1 - r(ВК)] \times [1 - r(МП)] \cdot [1 - r(ВР)]$	$\Phi(0000) = 0$

Примечание – Цифра «1» обозначает работоспособное, «0» – неработоспособное состояния устройств.

Вероятность работоспособного состояния устройств с учётом их как устойчивых, так и временных отказов (обозначим через P_j) определим, принимая во внимание то, что потеря работоспособного состояния устройства происходит в случаях, если для устройства возникает хотя бы один из отказов: либо устойчивый отказ из-за возникшей технической неисправности, или же временный отказ из-за действия факторов внешней среды (метеорологических факторов, физического окружения, преднамеренных действий нарушителя):

$$P_j = 1 - (1 - r_j)(1 - p_j), \quad (3)$$

где r_j, p_j – соответственно вероятность работоспособного состояния j -го устройства, обусловленная отсутствием только устойчивых отказов (технических неисправностей), и вероятность работоспособного состояния этого же устройства в случае отсутствия временных отказов при технически исправном состоянии устройства ($j \rightarrow М, ВК, МП, ВР$).

Итоговый показатель надёжности подсистемы «Т1–Кор1» – вероятность работоспособного состояния подсистемы в любой выбранный момент времени в соответствии с [2] определяется формулой

$$P_{Т1-Кор1} = \sum_{i=1}^{16} h_i \Phi_i \quad (4)$$

где Φ_i – вероятность работоспособного состояния подсистемы в случае нахождения её в i -м техническом состоянии.

Значение Φ_i определяется по формуле (1), то есть $\Phi_i = P_{i,Т1-Кор1}$.

В теории надёжности технических систем [2] итоговый показатель надёжности $P_{Т1-Кор1}$ называют показателем эффективности функционирования системы, а величину Φ_i – коэффициентом эффективности функционирования, соответствующим i -му техническому состоянию системы.

В таблице 2 приведены данные об устойчивых и временных отказах устройств подсистемы «Т1–Кор1» и рассчитанная по формуле (3) вероятность работоспособного состояния устройств с учётом как их устойчивых, так и временных отказов.

Таблица 2 – Расчёт вероятностей работоспособного состояния устройств

Обозначение устройства подсистемы	Усреднённая вероятность из опыта эксплуатации устройства		Рассчитанная по (3) вероятность работоспособного состояния устройства P_i
	r_j	p_j	
М	0,999	0,98	0,999980
ВК	0,992	0,95	0,999600
МП	0,995	0,999	0,999995
ВР	0,997	0,99	0,999970

Итоговые показатели надёжности, рассчитанные для подсистемы «Т1–Кор1» с учётом только устойчивых отказов, а также с учётом как устойчивых, так и временных отказов её устройств, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчёт показателя надёжности подсистемы

Пояснение подсистем	Рассчитанная вероятность работоспособного состояния	
	с учётом только устойчивых отказов	с учётом устойчивых и временных отказов
Подсистема «Т1–Кор»1	0,999934	0,998125
ЭСБ, включающая 28 подсистем, выполняющих защиту всех помещений здания	0,998154	0,948808

Расчёт показателя надёжности подсистемы «Т1–Кор1» с учётом только устойчивых отказов её устройств выполнен классическими методами [2, 3]. Оценка показателя надёжности этой же подсистемы «Т1–Кор1» с учётом как устойчивых, так и временных отказов её устройств дана методом, изложенным в этой статье.

В таблице 3 также приводятся результаты оценки вероятности работоспособного состояния электронной системы безопасности в целом в предположении, что 28 подсистем, входящих в состав системы, примерно одинаковы по уровню надёжности. Расхождение значений вероятностей для случаев неучёта и учёта временных отказов устройств составляет более пяти процентов.

Заключение. В данной статье, на конкретном примере показано, как при расчёте надёжности электронной системы безопасности можно одновременно учесть влияние устойчивых и временных отказов функциональных устройств, входящих в состав рассматриваемой системы. Из приведённого примера видно, что учёт только устойчивых отказов устройств системы при расчёте её надёжности приводит к получению завышенного значения вероятности работоспособного состояния.

Список литературы

1. Надёжность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-2015. – Введён 1.03.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 24 с.
2. Надёжность технических систем: справочник / Ю.К. Беляев [и др.]; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Боровиков, С.М. Расчёт показателей надёжности радиоэлектронных средств: учебно-методическое пособие / С.М. Боровиков, И.Н. Цырельчук, Ф.Д. Троян; под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.
4. Теоретические основы проектирования электронных систем безопасности. Лабораторный практикум: пособие / С.М. Боровиков [и др.]; под ред. С.М. Боровикова. – Минск: БГУИР, 2014. – 70 с.
5. Надёжность в технике. Структурная схема надёжности (IEC 61078:2016, Reliability block diagrams, IDT): ГОСТ Р МЭК 61078-2021. – Введён 1.01.2022. – М.: Российский институт стандартизации, 2021 – 90 с.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE ELECTRONIC SAFETY SYSTEM WITH CONSIDERING STABLE AND TEMPORARY FAILURES OF ITS FUNCTIONAL DEVICES

Batura A.A.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Borovikov S.M. – PhD, associate professor, associate professor of the Department of ICSD

Annotation. Using the example of one of the premises of a small banking institution, it is shown how, when calculating the reliability of an electronic security system that protects material assets from theft, one can take into account persistent and temporary failures of the system's functional devices.

Keywords: electronic security system, functional devices, reliability, persistent failures, temporary failures.