

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.3.049.77–048.24:621.396.66

*На правах рукописи*

**БАТУРА**  
**Александр Александрович**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени магистра

по специальности 1-39 80 03 Электронные системы и технологии  
(профилизация «Компьютерные технологии проектирования  
электронных систем»)

Минск 2024

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **БОРОВИКОВ Сергей Максимович**,  
кандидат технических наук, доцент, доцент  
кафедры проектирования информационно-  
компьютерных систем учреждения образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **КИРИЧУК Андрей Викторович**,  
магистр техники и технологии, директор  
Представительства № 2 ЗАСО  
«Промтрансинвест» в г.Минске

Защита диссертации состоится «25» июня 2024 г. года в 17<sup>05</sup> часов на заседании Государственной экзаменационной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, копр. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

## ВВЕДЕНИЕ

Классические методы расчёта показателей надёжности электронных систем, используемые в отечественной и мировой практике, принимают во внимание устойчивые отказы функциональных устройств, входящих в состав систем. Эти отказы вызывают техническую неисправность функционального устройства, что при наличии резервирования устройства снижает вероятность выполнения функций, возлагаемых на систему, либо приводит к полной потере системой работоспособности в случае отсутствия резервирования рассматриваемого устройства. При наличии устойчивых отказов восстановление работоспособности функциональных устройств и системы в целом достигается проведением ремонта, включающего замену отказавшего элемента в составе устройства или замену отказавшей функциональной части в составе системы.

Практика использования электронных систем безопасности на объектах различного функционального назначения показывает, что для обеспечения защиты объектов принципиальными являются не только устойчивые, но и временные отказы функциональных частей системы, называемые сбоями согласно ГОСТ 27.002-2015. Временный отказ (сбой) это самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора. Англоязычный термин этого отказа – *en interruption*. Причинами появления временных отказов устройств электронных систем являются кратковременные воздействия на них естественных или искусственных факторов, например, молний, раскатов грома, сильного ветра, импульса при включении мощной электромагнитной промышленной установки и т.д. Возникновение временного отказа может приводить к тому, что, например, датчик электронной системы безопасности, будучи технически исправным, временно не реагирует на факт проникновения нарушителя. После исчезновения причины, вызвавшей временный отказ, датчик восстанавливает свою работоспособность без выполнения технического ремонта.

Учёными и специалистами в области надёжности электронных систем выполнены исследования и опубликованы работы, в которых рассматриваются методы и модели оценки надёжности систем, излагаются подходы к оценке эффективности функционирования систем. Значимые результаты по этой тематике получены отечественными (СССР, страны СНГ) учёными: И.А. Ушаков, Б.А. Козлов, И.Б. Шубинский, Г.В. Дружинин и др. Большинство работ зарубежных авторов являются закрытыми. В открытой печати интерес вызывают работы V. Harris, Tall M.M., D.W. Herbert.

Важной задачей является оценка эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности с учётом как возможных устойчивых отказов устройств системы, так и возможных временных отказов. Это обеспечит получение более достоверных показателей эксплуатационной надёжности системы безопасности, что позволит эффективно планировать расходы на поддержание надёжности системы безопасности в процессе её эксплуатации.

Автор выражает благодарность Боровикову С.М. – научному руководителю, кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС, а также Алексееву В.Ф. – кандидату технических наук, доценту кафедры ПИКС, за проведение консультаций по выполнению и написанию магистерской диссертации.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Для электронных систем безопасности с точки зрения эффективности защиты объектов принципиальными являются временные отказы устройств системы. Приводимые в литературе традиционные методы расчёта эксплуатационной надёжности ориентированы на электронные технические системы, эффективность функционирования которых в основном определяется наличием структурного резервирования и возможными устойчивыми отказами устройств, входящих в состав систем.

Совместный учёт влияния устойчивых и временных отказов функциональных частей на надёжность электронной системы безопасности позволит получить более достоверные данные о её эксплуатационной надёжности и, следовательно, о степени защищённости объекта.

Актуальным является разработка метода оценки надёжности системы с учётом как устойчивых, так и временных отказов её функциональных частей.

### **Степень разработанности проблемы**

Исследование влияния на функционирование электронной системы безопасности временных отказов её устройств проводилось на основе рассмотрения и анализа справочных материалов по расчёту надёжности электронного оборудования, с учетом экспериментальных данных о вероятностях временных отказов функциональных устройств электронных систем безопасности.

Ограничением большинства традиционных (классических) методов расчёта эксплуатационной надёжности электронных систем, приводимых технической литературе и вошедших в справочники и стандарты по расчёту надёжности электронного оборудования разных стран, является учёт влияния на эксплуатационную надёжность систем только устойчивых отказов. Указанные методы расчёта надёжности систем учитывают применительно к функциональным частям, входящих в состав систем, устойчивые отказы, рассматриваемые в качестве доминирующих отказов и не учитывают влияние на функционирование системы временные отказы, вызываемые возможными при эксплуатации систем естественными или искусственными воздействиями (молнии, раскаты грома, сильный ветер, электромагнитный импульс при включении мощной промышленной установки и т.п.).

Выполняемое исследование направлено на усовершенствование метода расчёта эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности, которое обеспечит более высокую достоверность расчётных показателей её надёжности по сравнению с классическими методами, приводимыми в технической литературе.

## **Цель и задачи исследования**

*Целью работы* является повышение достоверности оценки эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности методом дополнительного учёта влияния временных отказов устройств системы.

Поставленная цель работы определяет следующие *основные задачи*:

1. Выполнить анализ и систематизацию методов оценки эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности и определить ограничения классических методов расчёта, учитывающих только устойчивые отказы устройств систем.

2. Усовершенствовать метод расчёта эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности включением в него процедуры учёта влияния на функционирование системы временных отказов её устройств.

3. Произвести поиск экспериментальных данных о вероятностях временных отказов электронных устройств систем безопасности в зависимости от вида внешнего воздействия, вызывающего возникновение этих отказов, и сформулировать рекомендации по определению на основе экспериментальных данных значений вероятностей появления внешних воздействий, вызывающих временные отказы электронных устройств систем безопасности (на основе экспериментальных данных на примере появления гроз и молний).

4. Сделать сравнительную оценку результатов расчёта эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности, полученных классическим методом (с учётом только устойчивых отказов устройств) и усовершенствованным методом с учётом как устойчивых, так и временных отказов устройств.

## **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 80 03 «Электронные системы и технологии» (профилизация «Компьютерные технологии проектирования электронных систем»).

## **Теоретическая и методологическая основа исследования**

При выполнении диссертации использованы отечественные (страны СНГ) и зарубежные работы в области оценки эксплуатационной надёжности электронных систем.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов (справочников, стандартов разных стран), сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

## **Научная новизна**

*Научная новизна* состоит в усовершенствовании метода оценки эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности включением в него процедуры учёта влияния на функционирование системы временных отказов её устройств.

*Теоретическая значимость* работы заключается в анализе методов расчёта эксплуатационной надёжности электронных систем и определении ограничений классических методов, учитывающих устойчивые отказы устройств системы.

*Практическая значимость* заключается в получении данных о вероятностях возникновения временных отказов электронных устройств систем безопасности в случае наличия внешнего воздействия, а также в оценке по экспериментальным данным вероятностей появления внешних воздействий, вызывающих временные отказы устройств.

## **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Усовершенствованный метод оценки эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности, отличающийся от методов, приведённых в литературе, учётом влияния на функционирование системы как устойчивых, так и временных отказов электронных устройств, входящих в её состав.

2. Определение по экспериментальным данным оценок вероятностей появления внешних воздействий, вызывающих возникновение временных отказов электронных устройств системы безопасности (на примере появления гроз и молний).

3. Сравнительная оценка результатов расчёта эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности, полученных классическим методом (с учётом только устойчивых отказов устройств), и усовершенствованным методом с учётом как устойчивых, так и временных отказов устройств.

## **Апробация диссертации и информация об использовании её результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на 59-ой и 60-ой научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (г. Минск, Беларусь, 2023 и 2024 г.г.); на XXI и XXII Белорусско-российской научно-технической конференции «Технические средства защиты информации» (г. Минск, Беларусь, 2023 и 2024 г.г.); на XXVII и XXVIII Международной научно-технической конференции «Современные средства связи» (г. Минск, Беларусь, 2022 и 2023 г.г.), на международном научном форуме «Научные шаги молодых ученых в цифровизации экономики» (г. Ашхабад, Туркменистан, 2023 г.), на XXVII и XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Новые информационные технологии в научных исследованиях» (г. Рязань, Российская Федерация, 2022

и 2023 г.г.), на Всероссийской научно-технической конференции с международным участием имени профессора О.Н.Пьявченко «Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении» «КомТех-2023»» (г. Таганрог, Российская Федерация, 2023 г.).

Результаты магистерской диссертации внедрены в учебный процесс в 2023-2024 учебном году в лекционный курс «Обеспечение надёжности технических средств и программного обеспечения» в соответствии с учебной программой учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности 1-39 03 01 «Электронные системы безопасности», регистрационный № УД-1-2111/уч. от 28.02.2024, тема 6 «Оценка ожидаемой надёжности ЭСБ», вопросы: «Временные отказы (сбои) технических устройств ЭСБ и их влияние на эффективность функционирования системы. Оценка проектной эффективности функционирования системы». Результаты диссертации также использованы в управлении Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь по Минской области (г. Минск, Республика Беларусь) и в Минском межрайонном отделе Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь) для уточнения показателя эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности, используемых для защиты помещений зданий.

### **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 10 печатных работах. В их числе: 7 – статьи в сборниках материалов научных конференций, 3 – тезисы докладов в материалах научных конференций.

Общий объём публикаций по теме диссертации составляет 31 страница.

### **Структура и объём работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трёх глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

**В первой главе** описаны общие подходы к оценке надёжности электронной системы безопасности, перечислены основные показатели надёжности и эффективности функционирования электронной системы безопасности, описано влияние временных и устойчивых отказов на функционирование и надёжность системы. Описаны классические методы расчёта эксплуатационной надёжности систем безопасности и их ограничения методов. Обоснована актуальность учёта временных отказов при оценке надёжности электронных систем безопасности.

**Во второй главе** изложен предложенный метод расчёта надёжности электронной системы безопасности с учётом временных отказов, с использованием при расчёте экспериментальных данных о вероятностях временных отказов функциональных устройств электронных систем безопасности. Показан подход к прогнозированию частоты появления

воздействующих факторов (на примере появления молний и грозových разрядов), вызывающих временные отказы функциональных устройств системы безопасности.

**В третьей главе** изложена методика оценки надёжности электронной системы безопасности с учётом временных отказов её устройств, приведено описание системы безопасности, используемой для сравнения методов расчёта надёжности, а также приведены данные, подтверждающие более высокую достоверность оценки надёжности электронной системы безопасности с учётом устойчивых и временных отказов её функциональных устройств по сравнению с классическим методом расчёта, принимающим во внимание только устойчивые отказы устройств, входящих в состав электронной системы.

**В приложении** представлены акты внедрения, копии публикаций, справка по антиплагиату.

Общий объём диссертационной работы составляет 102 страницы. Из них 52 страницы основного текста, библиографический список из 50 наименований на 4 страницах, список собственных публикаций соискателя из 10 наименований на 3 страницах, 12 иллюстраций на 6 страницах, 3 приложения на 38 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы обеспечения эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности, указаны основные направления исследований, проводимых по данной тематике, а также описано обоснование актуальности темы.

**В общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, представлены положения, выносимые на защиту, апробация результатов исследования, а также структура и объём работы.

**В первой главе** описаны общие подходы к оценке надёжности электронной системы безопасности, перечислены основные показатели надёжности и эффективности функционирования электронной системы безопасности, описано влияние устойчивых и временных отказов устройств системы на её функционирование и надёжность.

Установлено, что в настоящее время для оценки надёжности электронных систем, в том числе и систем безопасности, функционирующих на объектах любого назначения, принимают во внимание возникновение устойчивых отказов функциональных частей электронных систем. Эти отказы вызывают техническую неисправность функциональной части системы безопасности, что, в свою очередь, при наличии резервирования снижает вероятность защиты объекта, либо

приводит к полной потере системой работоспособности при отсутствии резервирования функциональной части. В случае возникновения устойчивого отказа восстановление работоспособности системы и/или обеспечение необходимой вероятности защиты объекта могут быть достигнуты путем ремонта и/или замены отказавшей функциональной части системы. Практика использования электронных систем безопасности на объектах различного функционального назначения показывает, что для обеспечения защиты объектов принципиальными являются также временные отказы функциональных частей системы, которые, называют сбоями (по ГОСТ 27.002-2015).

Для более достоверной оценки показателей эксплуатационной надежности электронной системы безопасности предлагается в расчетах надежности дополнительно использовать вероятности восприятия нарушителя датчиками системы и вероятности правильной обработки микропроцессорным устройством (функциональными частями системы) сигналов, поступающих от датчиков или команд от приемно-контрольного устройства. Причем, эти вероятности должны учитывать факт возможного невосприятия нарушителя датчиками или факт возможной неправильной обработки устройствами системы поступающей информации в случаях, когда функциональные устройства системы технически исправны, но кратковременно теряют работоспособность из-за временного отказа.

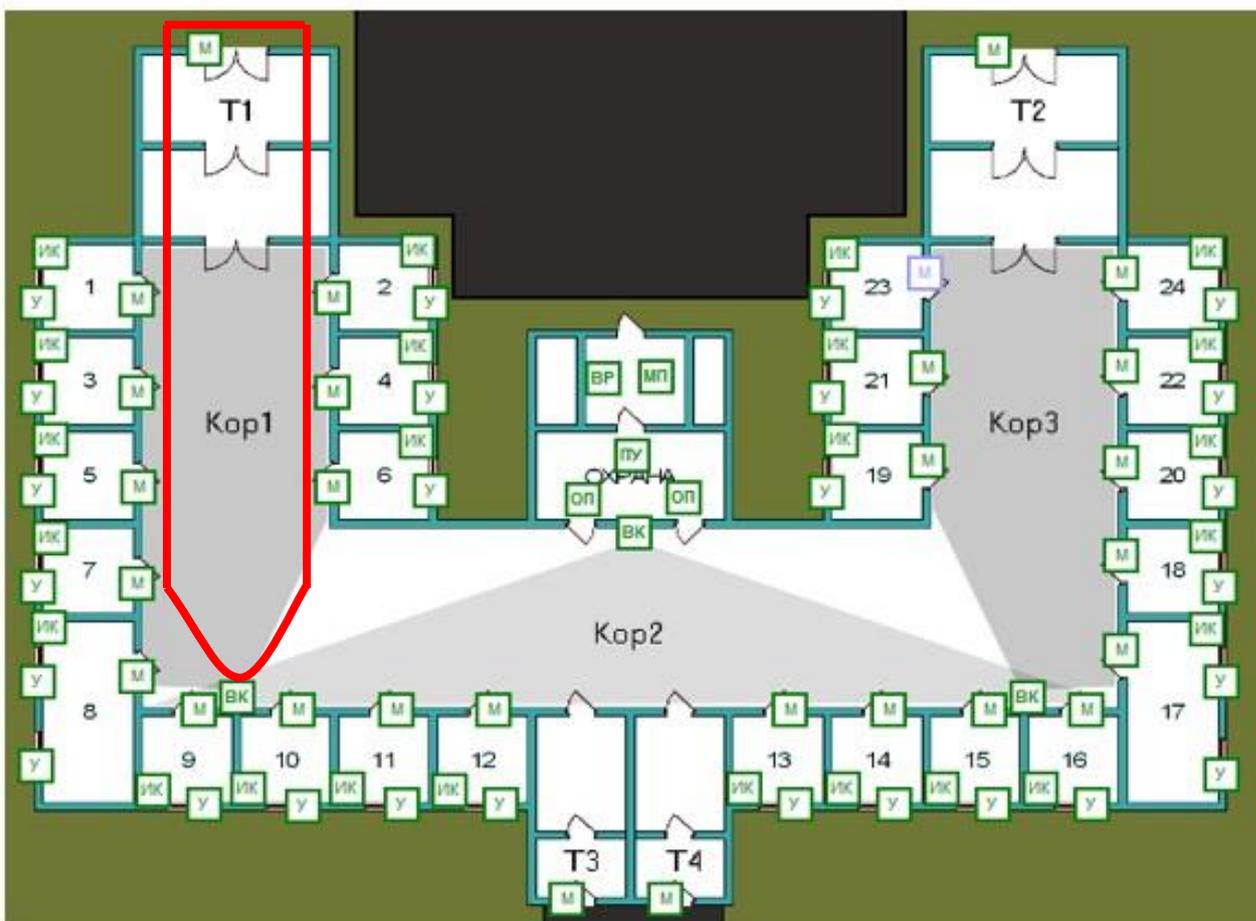
**Во второй главе,** на примере небольшого банковского учреждения, показан принцип расчёта надёжности электронной системы безопасности с учётом временных отказов.

Задача электронной системы безопасности состоит в том, чтобы обнаружить несанкционированное проникновение нарушителя в здание и дать команду исполнительным устройствам и охране (операторам – ОП) на ликвидацию угрозы. В состав электронной системы безопасности 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.

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.

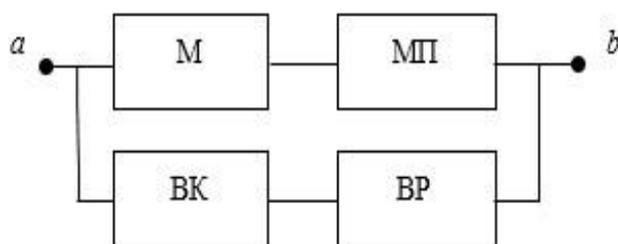


**Рисунок 1 – План объекта защиты и размещения устройств электронной системы безопасности**

Далее показано, как можно одновременно учесть устойчивые и временные отказы устройств электронной системы безопасности 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, построенная общепринятыми методами, для рассматриваемой подсистемы «Т1–Кор1» с учётом выполнения подсистемой своих функций по защите объекта (обнаружения факта проникновения нарушителя в коридор Кор1 через тамбур Т1) показана на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Структурная схема надёжности 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

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

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.

В теории надёжности технических систем итоговый показатель надёжности  $P_{Т1-Кор1}$  называют показателем эффективности функционирования системы (подсистемы).

В таблице 1 приведены данные о вероятностях работоспособного состояния устройств (обозначены через  $r_j$ ) подсистемы «Т1–Кор1» и вероятностях восприятия нарушителя датчиками М и ВК или правильной обработки сигналов устройствами МК и ВР (обозначены через  $p_j$ ) для случая учёта для устройств как устойчивых, так и временных отказов, вызываемых совокупностью гипотетических естественных и искусственных дестабилизирующих факторов.

**Таблица 1 – Расчёт вероятности работоспособного состояния устройств**

Обозначение устройства подсистемы «Т1–Кор1»	Усреднённая вероятность из опыта эксплуатации устройства		Расчитанная вероятность работоспособного состояния устройств с учётом устойчивых и временных отказов, $P_j$
	$r_j$	$p_j$	
М	0,999	0,98	0,978041
ВК	0,992	0,95	0,934861
МК	0,995	0,999	0,989035
ВР	0,997	0,99	0,984069

Итоговые показатели надёжности, рассчитанные для подсистемы «Т1–Кор1» и для электронной системы безопасности в целом с учётом только устойчивых отказов, а также с учётом как устойчивых, так и временных отказов её устройств системы, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчёт показателей надёжности

Пояснение подсистемы (системы)	Рассчитанная вероятность работоспособного состояния	
	с учётом только устойчивых отказов	с учётом устойчивых и временных отказов
Подсистема «Т1–Кор»1	0,999934	0,997384
Электронная система безопасности, включающая 28 подсистем, выполняющих защиту всех помещений здания	0,9982	0,9488

Расхождение значений вероятностей для случаев неучёта и учёта временных отказов устройств составляет более пяти процентов.

**В третьей главе** поясняется методика оценки надёжности электронной системы безопасности с учётом временных отказов её устройств.

Предлагаемая методика оценки эффективности функционирования электронной системы безопасности включает следующие основные этапы: уточнение электрической структурной схемы электронной системы безопасности; определение условия работоспособности электронной системы безопасности с учётом задач, решаемых системой, и указаний технической документации о том, что рассматривается в качестве нормального функционирования системы; разработка структурной схемы надёжности электронной системы безопасности с учётом условий работоспособности системы, а также указаний и рекомендаций ГОСТ; определение возможных технических состояний рассматриваемой электронной системы безопасности; получение математического выражения для определения коэффициентов эффективности возможных состояний электронной системы безопасности; расчёт эффективности функционирования рассматриваемой системы безопасности с учётом её возможных технических состояний и коэффициентов эффективности этих состояний с точки зрения обеспечения защиты объекта.

На примере простейшей электронной системы безопасности, электрическая структурная схема которой приведена на рисунке 3, показан пример применения методики.

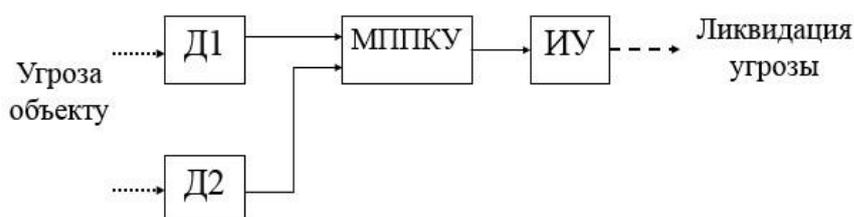
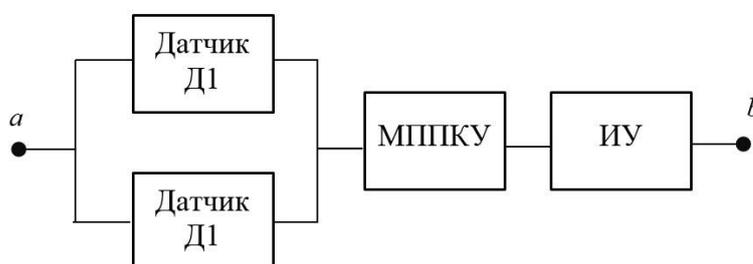


Рисунок 3– Электрическая структурная схема исследуемой электронной системы безопасности

На рисунке 3 приняты следующие обозначения: Д1, Д2 – датчики, воспринимающие угрозу объекту, фиксируют факт несанкционированного проникновения на объект; МППКУ – микропроцессорное приёмно-контрольное устройство; ИУ – исполнительное устройство, выполняющее функцию устранения угрозы для объекта.

Можно утверждать, что согласно технической документации электронная система безопасности сохраняет работоспособное состояние в случаях, если хотя бы один из датчиков выдает сигнал об угрозе объекту, устройство МППКУ правильно обрабатывает сигнал об угрозе, а устройство ИУ правильно формирует команду для ликвидации угрозы.

Рассматривая электрическую структурную схему (см. рисунок 3) и указанные условия работоспособных состояний электронной системы безопасности, с учётом рекомендаций технических документов, строим структурную схему надёжности. Эта схема является моделью надёжности системы, представляет собой логическое и графическое представление изделия, показывающее, каким образом безотказность его частей и их сочетаний влияют на работоспособность изделия в целом. Для построения структурной схемы надёжности надо выяснить, как с точки зрения надёжности в системе соединены устройства, входящие в состав системы. Её строят так, что потеря работоспособности системы происходит в случае, если на структурной схеме надёжности при движении слева направо или наоборот нет ни одного замкнутого пути. Построенная структурная схема надёжности показана на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Структурная схема надёжности исследуемой электронной системы безопасности**

В данном случае структурная схема надёжности во многом напоминает электрическую структурную схему электронной системы безопасности. Объясняется это простотой электрической структурной схемы выбранной для исследования системы безопасности.

Возможные состояния рассматриваемой электронной системы безопасности определяются по выражению

$$h_i = s(Д1) \cdot s(Д2) \cdot s(МП) \cdot s(ИУ), \quad (2)$$

где  $s(j)$  – вероятность, характеризующая техническое состояние (работоспособное или неработоспособное)  $j$ -го устройства исследуемой ЭСБ;  $j \rightarrow Д1, Д2, МП, ИУ$  (устройство МППКУ для краткости обозначено через МП).

Для расчёта коэффициентов эффективности  $\Phi_i$  состояний системы получена формула

$$\Phi_i = [1 - (1 - p_{д1})(1 - p_{д2})] p_{МП} \cdot p_{ИУ}, \quad (3)$$

где символы  $p$  означают вероятности обнаружения нарушителя датчиками или правильная обработка устройством МП сигналов, поступающих от датчиков, или правильное восприятие устройством ИУ команд, поступающим от устройства МП, а по нижним индексам интуитивно понятна суть соответствующих вероятностей.

Расчёт показателя эффективности функционирования  $E$  (вероятности работоспособного состояния) рассматриваемой системы безопасности с учётом её возможных состояний  $h_i$  и коэффициентов эффективности  $\Phi_i$  этих состояний выполняется по формуле

$$E = \sum_{i=1}^k h_i \cdot \Phi_i, \quad (4)$$

где  $k$  – число состояний системы, обеспечивающих условие её работоспособности.

Используя формулы (2)–(4), рассчитан показатель эффективности функционирования электронной системы безопасности для значений характеристик  $p_j$  и  $r_j$  устройств системы. Получено значение 0,9151. Расчёт вероятности работоспособного состояния электронной системы безопасности с учётом только устойчивых отказов даёт завышенное значение показателя надёжности (0,9472). Следовательно, для получения более достоверных данных о защите объекта следует учитывать влияние временных отказов на функционирование электронной системы безопасности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Изучены подходы к оценке надёжности электронной системы безопасности, описано влияние временных и устойчивых отказов на функционирование и надёжность системы. Установлено ограничение классического метода расчёта эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности. Обоснована актуальность исследования, заключающихся в учёте временных отказов устройств системы при оценке её надёжности [1 – 3].

2. Изложен принцип расчёта надёжности электронной системы безопасности с учётом временных отказов и использованием при расчёте экспериментальных данных о вероятностях временных отказов функциональных устройств электронных систем безопасности, а также результатов прогнозирования частоты появления воздействующих факторов, вызывающих временные отказы функциональных устройств (на примере появления молний и грозных разрядов) [4 – 6, 8, 9].

3. Подтверждена целесообразность оценки надёжности электронной системы безопасности по уточнённой методике, принимающей во внимание устойчивые и временные отказы её функциональных устройств, по сравнению с традиционным методом расчёта надёжности электронных систем [7, 10].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебный курс «Обеспечение надёжности технических средств и программного обеспечения» специальности «Электронные системы безопасности».

## **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ**

### *Статьи в сборниках научных трудов*

1. Батура, А. А. Новый подход к оценке эксплуатационной надёжности электронных систем обеспечения безопасности объектов инфокоммуникаций / А. А. Батура, С. М. Боровиков, А. В. Будник // Современные средства связи : материалы XXVII Международной научно-технической конференции, Минск, 27–28 октября 2022 года / Белорусская государственная академия связи ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2022. – С. 86-88.

2. Батура, А. А. Новый подход к оценке эксплуатационной надёжности электронных систем обеспечения безопасности объектов инфокоммуникаций / А. А. Батура, С. М. Боровиков, А. В. Будник // Новые информационные технологии в научных исследованиях: материалы XXVII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Секция 6. Информационные системы и процессы; Рязань, 8 декабря 2022 года / Рязань: ИП Коняхин А.В. (Book Jet), 2022. – С. 5-7.

3. Батура, А. А. Оценка надёжности электронной системы безопасности с учетом устойчивых и временных отказов её функциональных устройств / А. А. Батура // Электронные системы и технологии [Электронное издание] : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17-21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2023. – С. 71-75.

4. Батура, А. А. Учет устойчивых и временных отказов функциональных устройств электронной системы безопасности при оценке её надёжности / А. А. Батура // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении «КомТех-2023» : материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием : в 2 т. / Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. Т. 2 – С. 252-258.

5. Батура, А. А. Определение частоты появления гроз для задач оценки временных отказов электронных устройств систем безопасности объектов инфокоммуникаций / А. А. Батура, С. М. Боровиков, А. В. Будник // Современные средства связи : материалы XXVIII Международной научно-технической конференции, Минск, 26–27 октября 2023 года / Белорусская государственная академия связи ; редкол. : А. О. Зеневич [и др.]. – Минск, 2023. – С. 191-192.

6. Боровиков, С. М. Компьютерное моделирование как эффективный способ исследования проектных решений по техническим учебным дисциплинам / С. М. Боровиков, Е.Н. Шнейдеров, А. А. Батура // Инженерное образование в цифровом обществе: материалы Международной научно-методической конференции, Минск, 14 марта 2024 года. В 2 ч. Ч. 2 / редкол.: Е. Н. Шнейдеров [и др.]. – Минск : БГУИР, 2024. – С. 36-38.

7. Батура, А. А. Методика оценки эффективности функционирования электронных систем безопасности / А. А. Батура // Электронные системы и технологии [Электронное издание] : сборник материалов 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22-26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники. – Минск, 2024. – С. 200-202.

*Тезисы докладов в материалах научных конференций*

8. Батура, А. А. Учет временных отказов функциональных устройств электронной системы безопасности в инженерных расчетах ее эксплуатационной надежности / А. А. Батура, С. М. Боровиков, А. В. Будник // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XXI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 6 июня 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск, 2023. – С. 16-17.

9. Батура, А. А. Определение вероятностей возникновения факторов, вызывающих временные отказы электронных устройств систем обеспечения безопасности / А. А. Батура, А. В. Будник, С. М. Боровиков, // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XXI Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 6 июня 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск, 2023. – С. 17-18.

10. Батура, А. А. Методика оценки эффективности функционирования электронных систем безопасности / А. А. Батура, А. В. Будник, // Технические средства защиты информации : тезисы докладов XXII Белорусско-российской научно-технической конференции, Минск, 12 июня 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Т. В. Борботько [и др.]. – Минск, 2024. – С. 17-18.

## РЭЗІЮМЭ

Батура Аляксандр Аляксандравіч

### Ацэнка надзейнасці электроннай сістэмы бяспекі з улікам часовых і ўстойлівых адмоў яе функцыянальных частак

**Ключавыя словы:** электронная сістэма бяспекі, надзейнасць, функцыянальныя ўстройства, устойлівыя адмовы, часовыя адмовы, метадыка ацэнкі, эфектыўнасць функцыянавання

**Мэта працы:** павышэнне дакладнасці ацэнкі эксплуатацыйнай надзейнасці электронных сістэм бяспекі шляхам ўліку ўплыву на эфектыўнасць функцыянавання сістэмы часовых адмоваў яе функцыянальных частак.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** з выкарыстаннем тэхнічных матэрыялаў, уключаных у айчынную (краіны СНД) і замежную тэхнічную літаратуру па разліку надзейнасці электронных сістэм бяспекі, праведзены аналіз падыходаў да ацэнкі надзейнасці электроннай сістэмы бяспекі, апісаны ўплыў часовых і ўстойлівых адмоў на функцыянаванне і надзейнасць сістэмы. Устаноўлены абмежаванні класічнага метаду разліку эксплуатацыйнай надзейнасці сістэм бяспекі, абгрунтавана актуальнасць даследавання. З выкарыстаннем метадыкі ацэнкі надзейнасці электроннай сістэмы бяспекі з улікам часовых адмоваў яе прылад, на прыкладзе канкрэтнай электроннай сістэмы бяспекі, даказана эфектыўнасць ацэнкі надзейнасці электроннай сістэмы бяспекі з улікам устойлівых і часовых адмоваў яе функцыянальных частак у параўнанні з традыцыйным метадам разліку надзейнасці.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна-камп'ютэрных сістэм установы адукацыі "Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі" ў лекцыйны курс "Забеспячэнне надзейнасці тэхнічных сродкаў і праграмнага забеспячэння", а таксама ў упраўленні Дзяржаўнага камітэта судовых экспертыз Рэспублікі Беларусь па Мінскай вобласці і Мінскім міжраённым адзеле Дзяржаўнага камітэта судовых экспертыз Рэспублікі Беларусь у мэтах ўдакладнення паказчыка эксплуатацыйнай надзейнасці электронных сістэм бяспекі, якія выкарыстоўваюцца для абароны памяшканняў будынкаў.

**Вобласць ужывання:** павышэнне дакладнасці прагназавання надзейнасці электронных сістэм бяспекі ў цэлым, што дасць магчымасць больш эфектыўна планаваць эксплуатацыйныя выдаткі на падтрыманне ў працаздольным стане электронных сістэм бяспекі, а таксама модулей, якія увыходзяць у іх склад.

## РЕЗЮМЕ

Батура Александр Александрович

### Оценка надёжности электронной системы безопасности с учётом временных и устойчивых отказов её функциональных частей

**Ключевые слова:** электронная система безопасности, надёжность, функциональные устройства, устойчивые отказы, временные отказы, эффективность функционирования системы.

**Цель работы:** повышение достоверности оценки эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности методом учёта влияния на эффективность функционирования системы временных отказов её функциональных частей.

**Полученные результаты и их новизна:** с использованием технических материалов, включённых в отечественную (страны СНГ) и зарубежную литературу по расчёту надёжности электронных систем безопасности, выполнен анализ подходов к оценке надёжности электронных систем безопасности, описано влияние временных и устойчивых отказов на функционирование и надёжность системы. Установлены ограничения классического метода расчёта эксплуатационной надёжности систем безопасности, обоснована актуальность учёта временных отказов функциональных устройств системы при оценке её эксплуатационной надёжности. С использованием предложенной методики оценки надёжности электронной системы безопасности. На примере конкретной системы безопасности подтверждено достоинство метода оценки эксплуатационной надёжности электронной системы безопасности с учётом устойчивых и временных отказов её функциональных частей по сравнению с традиционным методом расчёта надёжности электронных систем.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в лекционный курс «Обеспечение надёжности технических средств и программного обеспечения», а также в управлении Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь по Минской области и в Минском межрайонном отделе Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь в целях уточнения показателя эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности, используемых для защиты помещений зданий.

**Область применения:** инженерные методы оценки эксплуатационной надёжности электронных систем безопасности повышение достоверности прогнозирования надёжности электронных систем безопасности в целом, что позволит более эффективно планировать эксплуатационные расходы на поддержание в работоспособном состоянии электронных систем безопасности, а также модулей, входящих в их состав.

## SUMMARY

**Batura Aliaksandr Aliaksandravich**

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

**Keywords:** electronic safety system, reliability, functional devices, stable failures, temporary failures, assessment methodology, efficiency of functioning.

**The object of study:** increasing the reliability of assessing the operational reliability of electronic safety systems by taking into account the impact on the efficiency of the system of temporary failures of its functional parts.

**The results and novelty:** using technical materials included in the domestic (CIS countries) and foreign technical literature on calculating the reliability of electronic safety systems, an analysis of approaches to assessing the reliability of an electronic security system was carried out, the influence of temporary and permanent failures on the functioning and reliability of the system was described. The limitations of the classical method of calculating the operational reliability of safety systems are established, and the relevance of the study is substantiated. Using a methodology for assessing the reliability of an electronic safety system taking into account temporary failures of its devices, using the example of a specific electronic safety system, the effectiveness of assessing the reliability of an electronic safety system taking into account stable and temporary failures of its functional parts has been proven in comparison with the traditional method of calculating reliability.

**Degree of use:** the results were introduced into the educational process at the Department of Information and Computer Systems Design of the Educational Institution "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics" in the lecture course "Ensuring the reliability of hardware and software", as well as in Minsk Region Directorate of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus and Minsk interdistrict department of the State Forensic Examination Committee of the Republic of Belarus in order to clarify the operational reliability of electronic safety systems used to protect building premises.

**Sphere of application:** increasing the reliability of predicting the reliability of electronic safety systems in general, which will make it possible to more effectively plan operating costs for maintaining electronic safety systems, as well as the modules included in them, in working order.