



# Актуальные проблемы защиты и безопасности

*Труды двадцать шестой Всероссийской  
научно-практической конференции*

Технические средства  
предупреждения  
чрезвычайных ситуаций  
и противодействия  
терроризму

**том 2**

Санкт-Петербург

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ  
И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК



# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ И БЕЗОПАСНОСТИ

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА  
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИЗМУ

Труды XXVI Всероссийской  
научно-практической конференции

Том 2



Санкт-Петербург  
2023

**Актуальные проблемы защиты и безопасности:** Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции РАРАН (3–6 апреля 2023 г.).

Издание ФГБУ «Российской академии ракетных и артиллерийских наук». Москва – 2023.

Составители и редакторы:

академик РАРАН, д.т.н., профессор В.А. Петров,  
член-корреспондент РАН, академик РАРАН, д.т.н., профессор М.В. Сильников,  
член-корреспондент РАРАН, к.т.н., доцент А.М. Сазыкин,  
академический советник РАРАН, к.т.н. А.С. Алешин.

Санкт-Петербург, 2023.

В шести томах трудов конференции представлен широкий спектр концептуальных вопросов проблем защиты и безопасности: вооружение и военная техника, оружие, в том числе нелетального действия, системы обнаружения, наведения, связи, навигации и управления подразделениями, борьба с терроризмом, обнаружение и обезвреживание взрывчатых веществ и радиоактивных веществ, безопасность особо важных объектов, ядерных центров, проблемы Военно-Морского Флота России, боевая экипировка и средства индивидуальной защиты, современные защитные материалы и конструкции, технологии их производства.

Том 1. «Перспективные направления развития вооружения, военной и специальной техники»

Том 2. «Технические средства предупреждения чрезвычайных ситуаций и противодействия терроризму»

Том 3. «Военно-Морской Флот Российской Федерации: настоящее и будущее»

Том 4. «Направления совершенствования теории и практики боевого применения РВиА»

Том 5. «Проблемы и перспективы развития материально-технического и финансово-экономического обеспечения войск (сил)»

Том 6. «Специальный сборник»

**В соответствии с Решением президиума ВАК Минобрнауки России изданиям Российской академии ракетных и артиллерийских наук предоставлено право опубликования научных результатов соискателей ученой степени доктора и кандидата наук.**



## РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ РАКЕТНЫХ И АРТИЛЛЕРИЙСКИХ НАУК

Российская академия ракетных и артиллерийских наук (РАРАН) воссоздана на основании Указа Президента Российской Федерации от 5 апреля 1994 года № 661 в целях возрождения традиций российской военной науки и развития исследований в оборонном комплексе страны как правопреемница Академии артиллерийских наук, образованной Постановлением Правительства СССР от 10 июля 1946 года № 1538-685.

Правовые основы ее деятельности определены Постановлениями Правительства Российской Федерации от 17 июля 1995 года № 715 и от 19 декабря 2013 года № 1192; Приказами Минобороны России от 8 декабря 1997 года № 452, от 2 августа 2008 года № 428.

В соответствии с уставом РАРАН является некоммерческой научной организацией, в форме федерального государственного бюджетного учреждения для выполнения работ и оказания услуг в целях научного обеспечения реализации предусмотренных законодательством Российской Федерации полномочий Министерства обороны Российской Федерации.

РАРАН отводится ведущая роль в решении теоретических и практических задач по всем вопросам военно-технической и оборонно-промышленной политики.

# ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

## ПРЕЗИДИУМ

---

### ПРЕДСЕДАТЕЛЬ

**Буренок  
Василий Михайлович**

Президент РАН,  
академик РАН,  
генерал-майор

### СОПРЕДСЕДАТЕЛИ

**Баканеев  
Сергей Анатольевич**

Начальник Михайловской военной артиллерийской академии,  
член-корреспондент РАН,  
генерал-лейтенант

**Сильников  
Михаил Владимирович**

Руководитель СЗРНЦ РАН,  
член Президиума РАН,  
член-корреспондент РАН,  
академик РАН

**Шаманов  
Владимир Анатольевич**

Заместитель председателя комитета Государственной Думы Федерального Собрания РФ по развитию гражданского общества, вопросам общественных и религиозных объединений,  
член-корреспондент РАН,  
генерал-полковник

## ЧЛЕНЫ ОРГКОМИТЕТА

---

**Анцев  
Георгий Владимирович**

Генеральный директор – генеральный конструктор ОАО «Концерн «Моринформсистема – АГАТ», ОАО «НПП «РАДАР ммс»

**Василенко  
Владимир Васильевич**

Член Президиума РАН,  
руководитель отделения № 4 РАН,  
академик РАН

**Гавкалюк  
Богдан Васильевич**

Начальник СПб университета  
ГПС МЧС России,  
генерал-лейтенант внутренней службы

<b>Иванов Константин Михайлович</b>	Ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, член-корреспондент РАН
<b>Изонов Виктор Владимирович</b>	Член Президиума РАН, руководитель отделения № 10 РАН, академик РАН
<b>Карпов Александр Вадимович</b>	Заместитель начальника ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова», член-корреспондент РАН, контр-адмирал
<b>Кийко Андрей Юрьевич</b>	Начальник СПб военного ордена Жукова института войск национальной гвардии РФ, генерал-майор
<b>Коновалов Владимир Борисович</b>	Заместитель начальника ВА МТО им. А.В. Хрулева, член Президиума РАН, руководитель отделения № 11 РАН, академик РАН, генерал-майор
<b>Крылов Валерий Михайлович</b>	Директор Военно-исторического музея артиллерии, инженерных войск и войск связи, академик РАН
<b>Лавринов Геннадий Алексеевич</b>	Первый вице-президент РАН, главный ученый секретарь РАН, член Президиума РАН, академик РАН
<b>Матвиевский Михаил Михайлович</b>	Начальник РВиА ВС РФ, генерал-лейтенант
<b>Петров Виктор Алексеевич</b>	Заместитель руководителя СЗРНЦ РАН, академик РАН
<b>Подоплёкин Юрий Федорович</b>	Член Президиума РАН, руководитель отделения № 5 РАН, академик РАН
<b>Рахманов Александр Алексеевич</b>	Вице-президент РАН, член Президиума РАН, академик РАН, председатель экспертного совета ВАК по военной науке и технике, генерал-лейтенант

<b>Сухорученко Владимир Степанович</b>	Ведущий генерал-инспектор ВС РФ при Михайловской военной артиллерийской академии, член-корреспондент РАН, генерал-лейтенант
<b>Топоров Андрей Викторович</b>	Начальник ВА МТО им. А.В. Хрулева, академик РАН, генерал-лейтенант
<b>Чепур Сергей Викторович</b>	Начальник Государственного научно-исследовательского испытательного института военной медицины Минобороны России
<b>Якушенко Евгений Иванович</b>	Заместитель генерального директора по инновациям АО «НПО Спецматериалов», академик РАН

## СЕКРЕТАРИАТ

---

<b>Сазыкин Андрей Михайлович</b>	Ученый секретарь, начальник научно-методического центра АО «НПО Спецматериалов», член-корреспондент РАН
<b>Алешин Александр Сергеевич</b>	Заместитель ученого секретаря, заместитель начальника научно-методического центра АО «НПО Спецматериалов», академический советник РАН
<b>Ростовцев Александр Леонидович</b>	Заместитель главного редактора журнала «Защита и безопасность»
<b>Шадрин Сергей Владимирович</b>	Начальник отдела организации научной работы и подготовки научно-педагогических кадров МВАА

## РУКОВОДИТЕЛИ СИМПОЗИУМОВ

---

### **1. Военно-технические перспективы прорывных научных исследований**

Якушенко Евгений Иванович — академик РАН

Гук Игорь Владимирович

### **2. Перспективные направления развития вооружения, военной и специальной техники**

Иванов Константин Михайлович — член-корреспондент РАН

Чернышов Михаил Викторович — советник РАН

### **3. Военно-Морской Флот Российской Федерации: настоящее и будущее**

Петров Виктор Алексеевич — академик РАН

Половинкин Владимир Николаевич — член-корреспондент РАН

### **4. Направления совершенствования теории и практики боевого применения РВиА**

Буг Сергей Васильевич — советник РАН

Шадрин Сергей Владимирович

### **5. Бронетанковое вооружение и техника**

Кийко Андрей Юрьевич

Андрющенко Михаил Сергеевич

### **6. Проблемы и перспективы развития материально-технического и финансово-экономического обеспечения войск (сил)**

Топоров Андрей Викторович — академик РАН

Коновалов Владимир Борисович — академик РАН

### **7. Технические средства предупреждения чрезвычайных ситуаций и противодействия терроризму**

Михайлин Андрей Иванович — член-корреспондент РАН

Сильников Никита Михайлович — член-корреспондент РАН

### **8. Комплексная безопасность на транспорте**

Костин Геннадий Александрович

Балясников Валерий Васильевич



## ЦЕЛИ КОНФЕРЕНЦИИ

---

1. Анализ тенденций развития геополитической обстановки и задачи силовых структур государства.

2. Консолидация усилий военных и гражданских специалистов в направлении повышения эффективности работ по укреплению национальной безопасности.

3. Координация деятельности различных организаций силовых структур государства и ОПК по ключевым проблемам военно-технической политики, развитию оборонно-промышленного комплекса, разработке производства и эксплуатации ВВСТ, использованию военных технологий в интересах экономики страны.

Конференция направлена на выработку единого понимания основных проблем развития ОПК, вооруженных сил и других силовых структур государства:

1. Инновационную политику государства и ее реализацию в обеспечении суверенитета, безопасности и защиты государства;

2. Приоритетные направления борьбы с террористическими угрозами, отражения экспансии и агрессивных устремлений США, НАТО и их сателлитов.

## ОТКРЫТИЕ КОНФЕРЕНЦИИ

---

**Буренок Василий Михайлович** — Президент РАРАН, академик РАРАН

## ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

---

**Баканеев Сергей Анатольевич** — начальник Михайловской военной артиллерийской академии, член-корреспондент РАРАН, генерал-лейтенант

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ КОМПОНЕНТОВ ПАЗ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ ПОЛНОТЫ БЕЗОПАСНОСТИ. ПОДТВЕРЖДЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ

*Ю.Д. Индык, И.А. Можяева, А.В. Струков  
(ООО «СПИК СЗМА»)*

При выборе оборудования для технологических процессов следует руководствоваться указаниями регулятора в области промышленной безопасности и надлежащей инженерной практикой, в том числе той, которая касается проектирования, эксплуатации или технического обслуживания систем противоаварийной автоматической защиты (ПАЗ).

Федеральные нормы и правила однозначно определяют, что «... методы создания ПАЗ должны определяться в соответствии с требуемым уровнем полноты безопасности...» [1]. Таким образом определено, что компоненты систем ПАЗ должны соответствовать требованиям стандартов серии ГОСТ Р МЭК 61508.

Выбор любой части оборудования (компонентов, элементов, подсистем) для систем ПАЗ зависит от их функциональности, надежности, условий эксплуатации и технологических требований. В дополнение к этому оборудование выбирается для обеспечения заданного уровня полноты безопасности (УПБ) для каждой инструментальной функции безопасности (ФБ) в соответствии со спецификацией требований безопасности (СТБ).

Практический подход к выбору элементов, используемых в ПАЗ, заключается в применении комбинации свидетельств соответствия с требованиями МЭК 61508-2 для аппаратной части (МЭК 61508-3 для программного обеспечения) и эксплуатационного опыта. При этом необходимо продемонстрировать, что компонент, элемент или подсистема ПАЗ достаточно надежны для обеспечения заданной полноты безопасности, которая может быть выражена в терминах средней вероятности отказа на запрос или средней частоты опасных отказов. Кроме того, необходимо рассмотреть архитектурные ограничения, которые связаны с определением доли безопасных отказов, значение которой определяется диагностическим покрытием. Одним из основных доказательств применимости компонентов в системах ПАЗ является подтверждение достаточно низкой вероятности систематических отказов, что является важной задачей оценивания предыдущего опыта их применения.

В данной статье рассматриваются вопросы подтверждения соответствия элементов, применяемых в ПАЗ, требованиям стандартов серии МЭК 61508.

В настоящее время сложилась известная международная практика применения сертификатов как способа документального оформления третьей стороной доказательств возможности использования компонентов (изделий, устройств, оборудования) в системах, связанных с безопасностью.

В стандартах ГОСТ Р МЭК 61508-2–2012 и ГОСТ Р МЭК 61508-3–2012 (далее МЭК 61508-2 и МЭК 61508-3) понятие «сертификат» не используется. Тем не менее указывается, что для каждого применяемого изделия, для которого требуется соответствие стандартам серии МЭК 61508, должно быть разработано руководство по безопасности (РБ) в соответствии с приложением D. В примечании к п. 7.4.9.7 МЭК 61508-2 отмечено, что требования, не обеспеченные достаточными доказательствами, не помогают установить корректность и полноту функции безопасности, в реализации которой участвует компонент.

По определению (МЭК 61508-4) «Руководство по безопасности для применяемых изделий (safety manual for compliant items): Документ, предоставляющий всю информацию, связанную с функциональной безопасностью компонента, выполняющего указанные функции

безопасности, гарантирующий, что система соответствует требованиям серии стандартов МЭК 61508». Требование соответствия стандартам серии МЭК 61508 означает в общем случае выполнение всех требований каждого раздела и подраздела.

Для систем ПАЗ, имеющих низкую сложность, и при наличии у специалистов достаточно-го практического опыта, дающего необходимую уверенность в достижении целевой полноты безопасности, допускается освобождение компонентов от необходимости соответствия некоторым требованиям стандарта, при условии, что это решение будет обосновано. Системы, имеющие низкую сложность, характеризуются тем, что отказы каждого отдельного компонента хорошо определены, а поведение самой системы в условиях сбоя полностью известно.

Цель руководства по безопасности состоит в документальном оформлении информации, которая необходима для обеспечения интеграции применяемого компонента в связанную с безопасностью систему.

Хорошая практика сертификации применяемых в ПАЗ изделий показывает, что достаточно подготовленные в области функциональной безопасности сертификационные центры разрабатывают такую схему сертификации, при которой компетентные специалисты центра оказывают реальную поддержку и помощь изготовителям компонентов в получении доказательств соответствия требованиям отдельных частей или пунктов стандарта МЭК 61508-2. Опыт сертификационной работы показывает, что изготовитель не всегда имеет полностью разработанное РБ к началу процессу сертификации, но в окончательном варианте сертификата обычно указывается, что в конкретном проекте обязательно использование данных из РБ.

В идеальном случае РБ применяемого в ПАЗ изделия должно содержать следующую информацию:

- классификацию типа А или В той части применяемого изделия, которая обеспечивает выполнение функции безопасности;
- виды случайных отказов аппаратных средств, приводящих к отказу функции безопасности, обнаруженных и не обнаруженных внутренней диагностикой;
- предполагаемую интенсивность отказов для каждого вида отказов;
- интервал диагностических проверок для каждого вида отказов, обнаруживаемых внутренней диагностикой (diagnostic test interval);
- требования к периодическим контрольным проверкам (proof test) и/или техническому обслуживанию;
- стойкость к систематическим отказам применяемого изделия (ССО);
- любые указания или ограничения, связанные с применением изделия, реализующего ФБ, которые могут предотвратить систематические отказы этого изделия.

В заявлениях (декларациях) производителя и сертификатах третьей стороны обычно говорится, что продукт пригоден для использования до указанного УПБ, если продукт эксплуатируется в соответствии с РБ. Здесь важны детали отчета о подтверждении пригодности оборудования к применению в ПАЗ.

В качестве примера исходных данных, необходимых для оценки уровня полноты безопасности и учета архитектурных ограничений, рассмотрим фрагменты РБ датчиков температуры (ДТ) и измерительных преобразователей в полевом исполнении (ИПП), изготавливаемых в ООО «ПК ТЕСЕЙ», и датчиков-газоанализаторов ДГС ЭРИС-210, ДГС ЭРИС-230, изготавливаемых в группе компаний «ЭРИС».

В табл. 1 приведены показатели надежности ДТ и ИПП, в табл. 2 — датчиков-газоанализаторов.

В табл. 1 и 2 используются следующие обозначения:

$\lambda_{du}$  — интенсивность опасных необнаруженных отказов;

$\lambda_{dd}$  — интенсивность опасных обнаруженных отказов;

$\lambda_{su}$  — интенсивность безопасных необнаруженных отказов;

Таблица 1

## Показатели надежности ДТ и ИПП (фрагмент РБ)

Исполнение ДТ	Тип компонента	$\lambda_{du}$	$\lambda_{dd}$	$\lambda_{su}$	$\lambda_{sd}$	ДБО
КТххЕх01	А	30	100	20	0	80 %
Исполнение ДТ и ИПП с преобразователем PR 53335, PR 6337						
В комплекте с термопарой	А	425	4973	0	142	92,3 %

Таблица 2

## Показатели надежности датчиков-газоанализаторов (фрагмент РБ)

Название газоанализатора	ДГС ЭРИС 210
Тип анализатора	Тип В (сложное устройство)
$\lambda_{du}$ (интенсивность опасных необнаруженных отказов)	85
$\lambda_{dd}$ (интенсивность опасных обнаруженных отказов)	149
$\lambda_{su}$ (интенсивность безопасных необнаруженных отказов)	1862
$\lambda_{sd}$ (интенсивность безопасных обнаруженных отказов)	982
Доля безопасных отказов, %	97,3

$\lambda_{sd}$  — интенсивность безопасных обнаруженных отказов.

В табл. 1 и 2 значения интенсивностей отказов приведены в FIT ( $10^{-9}$  1/час).

Доля безопасных отказов (ДБО) рассчитывается как отношение суммы интенсивности безопасных отказов и опасных обнаруженных отказов к сумме интенсивностей безопасных и опасных отказов, то есть по формуле

$$\text{ДБО} = (\lambda_{sd} + \lambda_{su} + \lambda_{dd}) / (\lambda_{sd} + \lambda_{su} + \lambda_{dd} + \lambda_{du}). \quad (1)$$

Для определения архитектурных ограничений на применение изделий в системах ПАЗ используются данные табл. 2 и 3 стандарта МЭК 61508-2. Требования к отказоустойчивости аппаратных средств указанных таблиц применяются для определения максимального значения УПБ, который может быть предъявлен к системе, в которой используется данный компонент. Отказоустойчивость аппаратных средств (ОАС) выражается в структурной избыточности элемента или подсистемы. При ОАС = 0 резервирование не требуется, при ОАС = 1 применяется архитектура, в которой отказ одного элемента не приводит к отказу ФБ, например 1oo2, 2oo3. При ОАС = 2 необходима архитектура, в которой отказ двух элементов не приводит к отказу

Таблица 3

## Максимальный УПБ для ФБ, реализуемой элементом или подсистемой

ДБО/ОАС	Отказоустойчивость аппаратных средств					
	Элемент типа А			Элемент типа В		
	0	1	2	0	1	2
менее 60 %	УПБ 1	УПБ 2	УПБ 3	—	УПБ 1	УПБ 2
от 60 % до 90 %	УПБ 2	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 1	УПБ 2	УПБ 3
от 90 % до 99 %	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4	УПБ 2	УПБ 3	УПБ 4
более 99 %	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4

ФБ, например 1003, 2004. В табл. 3 приводятся объединенные данные табл. 2 и 3 стандарта МЭК 61508-2.

К элементам типа А относятся такие элементы, для которых виды отказов всех составляющих компонентов определены, поведение элемента в условиях отказа также полностью определено, а данные рекламационной работы достаточно надежны.

Если хотя бы одно из условий не выполняется, то элемент относится к типу В.

К элементам типа В относятся, в частности, те элементы, для которых в технической документации указан только такой показатель надежности, как средняя наработка до отказа  $T_{ср}$  (МТТФ) или интенсивность отказов  $\lambda$ .

Следует отметить, что показатель ДБО тесно связан с показателем охвата диагностикой опасных отказов (DC). Показатель DC — это часть опасных отказов, выявляемая автоматическими диагностическими тестами в неавтономном режиме.

В Приложении С стандарта МЭК 61508-2 охват диагностикой опасных отказов определяется следующим выражением

$$DC = \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{dd} + \lambda_{du}} \quad (2)$$

Для определения оценок интенсивностей отказов и, следовательно, показателей DC и ДБО, необходимо проведение процедуры анализа видов и последствий отказов (АВПО) компонентов или группы компонентов с использованием данных по отказам из признанного промышленного источника. Для проведения такого анализа необходимы подробные схемные решения, описывающие каждый компонент и его влияние на выполнение ФБ, виды и интенсивности отказов и связанные соотношения безопасных и опасных отказов к полной интенсивности отказов в процентах.

В табл. 4 приведен фрагмент примера расчета показателей DC и ДБО, приведенного в Приложении С стандарта МЭК 61508-6.

В табл. 4 использованы следующие обозначения:

$S$  — безопасный отказ;

$D$  — опасный отказ;

КЗ — короткое замыкание;

$DC_{\text{ком}}$  — охват диагностикой для компонента.

Использование табл. 4 дает следующие результаты:

$$DC = \frac{\lambda_{dd}}{\lambda_{dd} + \lambda_{du}} = \frac{\lambda_D - \lambda_{du}}{\lambda_D} = \frac{524,1 - 48,588}{524,1} = 90,7 \%;$$

$$\text{ДБО} = \frac{\lambda_{dd} + \lambda_S}{\lambda_D + \lambda_S} = \frac{\lambda_D - \lambda_{du} + \lambda_S}{\lambda_D + \lambda_S} = \frac{524,1 - 48,588 + 304,9}{524,1 + 304,9} = 94,1 \%.$$

В предположении, что опасные отказы составляют 50 % от общего числа отказов, то есть  $\lambda_D = \frac{\lambda}{2}$  (табл. В1 стандарта МЭК 61508-6, где  $\lambda$  — общая интенсивность отказа компонента), доля безопасных отказов рассчитывается по формуле

$$\text{ДБО} = \frac{1 + DC / 100}{2} \quad (3)$$

Расчет охвата диагностикой и доли безопасных отказов

Ком- понент	Тип	Распределение на безопасные и опасные отказы для каждого вида отказов						Распределение на безопасные и опасные отказы для охвата диагностикой и рассчитанных интенсивностей отказов ( $\times 10^{-9} \text{ч}^{-1}$ )					
		обрыв		КЗ		изменение значения		$DC_{\text{комп}}$		1	2	3	4
		$S$	$D$	$S$	$D$	$S$	$D$	$S$	$D$	$\lambda_s$	$\lambda_D$	$\lambda du$	$\lambda_s + \lambda_D$
C1	100 нФ	1	0	1	0	1	0	1	0	3,2	0	0	3,2
C2	10 мкФ	0	0	1	0	0	0	1	0	0,8	0	0	0,8
R4	1 М	0,5	0,5	0,5	0,5			1	1	1,7	1,7	0	3,4
OSC1	OSC24МГц	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	16,0	16,0	0	32,0
U8	74НСТ85	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,99	0,99	22,8	22,8	0,228	45,6
U16	MC68000	0	1	0	1	0,5	0,5	0,90	0,90	260,4	483,6	48,36	744,0
Всего										304,9	524,1	48,588	829

Таблица 5

Соответствия показателей DC и ДБО для случая  $\lambda_D = \frac{\lambda}{2}$ 

DC, уровень	–	низкий	средний	высокий
DC, %	0	60	90	99
ДБО, %	50	80	95	99,5

В табл. 5 приведены примеры соответствия показателей охвата диагностирования DC и доли безопасных отказов ДБО.

Как видно из табл. 5, если нет информации об охвате диагностикой изделия ( $DC = 0$ ), то есть известны только показатели надежности  $T_{ср}$  или  $\lambda$ , следует принять значение ДБО = 50 %, В этом случае для комбинации элементов типа В с отказоустойчивостью, равной 1, согласно табл. 3 максимально допустимым УПБ для функции безопасности, выполняемой этой комбинацией, является УПБ1.

В табл. 5 оценки уровней DC (низкий, средний, высокий) указаны в соответствии с таблицей А1 Приложения А «Управление отказами в процессе эксплуатации» стандарта МЭК 61508-2. Таблица А1 «Ошибки и отказы, которые ...учитываются при определении доли безопасных отказов» поддерживается таблицами А, 2–А14 для отдельных компонентов или группы компонентов — электромеханические устройства, устройства ввода-вывода, шины, процессоры, датчики, исполнительные механизмы.

Некоторые примеры уровней и диапазонов охвата диагностикой различных подсистем (компонентов) приведены в табл. С2 стандарта МЭК 61508-6. В частности, для датчиков и исполнительных механизмов низкий охват диагностикой соответствует диапазону 50–70 %, средний охват — диапазону 70–85 %, высокий охват — диапазону выше 85 %.

Несмотря на заявления производителей о соответствии отдельных компонентов определенным УПБ, следует принимать во внимание, что понятие УПБ относится к контуру ПАЗ, к функции безопасности, а не к свойству отдельного компонента.

Датчик УПБ1, подключенный к логическому вычислителю УПБ1 с выходом на конечный элемент с УПБ1, не всегда могут обеспечить УПБ 1 для функции безопасности. Более того, ошибочно полагать, что для обеспечения функции безопасности, например, УПБ2 достаточ-

но, чтобы все компоненты соответствовали УПБ2 [3]. Окончательное решение принимается только после расчета сформированного контура ПА3.

Полнота безопасности для контура ПА3 рассчитывается как сумма вероятностей отказов последовательно соединенных подсистем. В большинстве случаев необходимо выбирать устройства, которые могут обеспечить более высокий УПБ, чем это необходимо, чтобы весь контур достиг желаемого УПБ. Для решения данной задачи необходимо с помощью исходных данных, приведенных в РБ на компоненты контура ПА3, выразить надежность этих компонентов в терминах средней вероятности отказа на запрос или средней частоты опасных отказов и оценить достигнутую меру отказов функции безопасности с учетом архитектуры каждой подсистемы контура ПА3. Для этой цели доступны многие методы моделирования, такие как анализ деревьев неисправностей, структурные схемы надежности, сети Петри. Упрощенный подход, который может быть использован для оценки достигнутого УПБ, описан в приложении В МЭК 61508-6.

Средняя вероятность отказа на запрос ( $PFD_{avg}$ ) функции безопасности для режима с низкой интенсивностью запросов (не чаще одного раза в год) определяется как сумма средней вероятности отказа подсистемы датчиков  $PFD_{avgS}$ , средней вероятности отказа логической подсистемы  $PFD_{avgL}$  и средней вероятности отказа подсистемы исполнительных элементов  $PFD_{avgFE}$ , то есть

$$PFD_{avg} = PFD_{avgS} + PFD_{avgL} + PFD_{avgFE} \quad (4)$$

Для режима с высокой интенсивностью запросов формула (4) для средней частоты опасных отказов контура ПА3 имеет вид

$$PFH = PFH_S + PFH_L + PFH_{FE} \quad (5)$$

Компонентами подсистемы датчиков могут быть, например, датчики, искробезопасные барьеры, согласующие цепи, компонентами логической подсистемы — процессоры, сканеры, интерфейсные модули, а компонентами подсистемы исполнительных элементов — искробезопасные барьеры, привода и исполнительные механизмы.

Каждая подсистема представляет собой как одну или более голосующих групп 1001, 1002, 1002D, 2003 или 1003. Для каждой голосующей группы опубликованы таблицы, в которых заданы следующие исходные данные:

- межпроверочный интервал (Proof Test Interval) TI (6 месяцев, 1 год, 2 года, 10 лет);
- интенсивность опасных отказов (диагностическое покрытие DC (0 %, 60 %, 90 %, 99 %));
- коэффициент модели отказов по общей причине  $\beta$  (2 %, 10 %, 20 %).

Для нерезервированной структуры 1001 средняя вероятность отказа на запрос рассчитывается по формуле, приведенной в подразделе В.3.2.2.1 стандарта МЭК 61508-6

$$PFD_{avg} = \lambda_{du} \frac{TI}{2} + \lambda_{dd} \cdot MTTR, \quad (6)$$

где MTTR — среднее время восстановления элемента.

Для голосующих групп 1002, 1002D, 2003 и 1003 в приложении В стандарта МЭК 61508-6 приведены приближенные расчетные формулы. Необходимость использования приближенных формул объясняется сложностью применения в инженерной практике точных формул, полученных на основе марковских моделей. Отсюда и расхождения результатов расчетов по формулам с данными соответствующих таблиц при значениях интенсивности опасных отказов более  $2,5E-06$  для десятилетнего интервала между контрольными проверками (proof

test). Кроме того, в п. 3.1 представлены предположения, на которых основываются расчеты по приведенным формулам и которые не всегда выполняются на практике. Для структуры 1002D есть дополнительное ограничение — интенсивность безопасных отказов принимается равной интенсивности опасных отказов. На практике это не всегда выполняется. Кроме того, рекомендуется без объяснений физической сути использовать коэффициент  $K = 0,98$ , который показывает «...эффективность межканального сравнения/механизма переключения...». Структура 1002D является более надежной, чем структура 1002, при высоком охвате диагностикой. Следует отметить, что буква D означает не просто диагностирование (оно присутствует во всех избыточных структурах), а динамическое диагностирование, потому что при нормальной работе реализуется логика 2002 для снижения вероятности ложного срабатывания. При отказе одного из каналов структура 1002D деградирует в структуру 1001. Из-за сложности реализации диагностирования двух каналов с высоким показателем DC структуры 1002D чаще используются в контроллерной части ПАЗ.

Если в реальной системе ПАЗ используются иные структуры, то необходимо учитывать тот факт, что при моделировании надежности с использованием программной реализации метода анализа деревьев неисправностей возможно занижение оценок средней вероятности отказа на запрос и средней частоты опасных отказов. Указанное занижение может достигать 15–20 % при расчете контуров ПАЗ с УПБ1 [3]. В более надежных контурах это занижение незначительно.

Таблица 6

**Обобщенные интервальные оценки интенсивности опасных необнаруженных отказов**

Тип элемента	$\lambda du$ н	$\lambda du$ в	$T_{ср}$
Сигнализатор давления механический	50	1000	114,2
Датчик давления	20	150	761,0
Сигнализатор температуры механический	50	1000	114,2
Датчик температуры	25	90	1268,4
Термопара	5	100	1141,6
Сигнализатор уровня	50	1000	114,2
Датчик уровня радарный	70	750	152,2
Датчик уровня емкостной	50	150	761,0
Датчик уровня вибрационный	15	150	761,0
Датчик уровня ультразвуковой	40	150	761,0
Расходомер магнитный	100	400	285,4
Расходомер ультразвуковой	200	700	163,1
Расходомер вихревой	100	400	285,4
Процессор (ЦПУ)	3	300	380,5
Источник питания 24 В	3	50	2283,1
Модуль аналогового ввода	50	150	761,0
Модуль дискретного ввода	50	150	761,0
Модуль дискретного вывода	10	30	3805,2
Привод пневматический поршневой	120	700	163,1
Привод гидравлический поршневой	130	1300	87,8
Привод гидравлический мембранный	110	910	125,4
Реечный пневмопривод	300	900	126,8
Клапан-бабочка с тройным смещением	450	800	142,7



УПБ и показатели функциональной безопасности [3]

УПБ	PFDavg (низкая интенсивность запросов)	RRF (коэффициент снижения риска)	PFH (1/ч) (высокая интенсивность запросов)
4	$\geq 10^{-5}$ и $< 10^{-6}$	От 100000 до 10000	$\geq 10^{-9}$ и $< 10^{-8}$
3	$\geq 10^{-4}$ и $< 10^{-3}$	От 10000 до 1000	$\geq 10^{-8}$ и $< 10^{-7}$
2	$\geq 10^{-3}$ и $< 10^{-2}$	От 1000 до 100	$\geq 10^{-7}$ и $< 10^{-6}$
1	$\geq 10^{-2}$ и $< 10^{-1}$	От 100 до 10	$\geq 10^{-6}$ и $< 10^{-5}$

Для ориентировочного расчета контура ПАЗ при неполной информации о надежности некоторых компонентов возможно использование интервальных оценок интенсивности опасных необнаруженных отказов, которые получены на основе анализа достаточно большого числа сертификатов компанией exida.

В табл. 6 использованы следующие обозначения:

–  $\lambda du$  н,  $\lambda du$  в — нижняя и верхняя границы интервальной оценки интенсивности опасных необнаруженных отказов соответственно ( $10^{-9}$  1/ч);

–  $T_{ср}$  — минимальная средняя наработка до отказа в годах, рассчитанная по формуле  $T_{ср} = \frac{1}{\lambda du в}$  в предположении, что интенсивность безопасных отказов равна интенсивности опасных отказов, при этом охват диагностикой опасных отказов  $DC = 0$ .

Имея информацию о значении интенсивности опасных необнаруженных отказов  $\lambda du$ , полученную из руководства по безопасности конкретного компонента, или используя ее интервальную оценку, можно по упрощенной формуле (6), которая широко используется в инженерной практике, определить уровни полноты безопасности в соответствии со стандартами МЭК 61508 (табл. 7).

В табл. 7 коэффициент снижения риска рассчитывается как величина, обратная средней вероятности отказа на запрос PFDavg.

### Заключение

Естественным и необходимым шагом для выполнения указаний Ростехнадзора [1] является разработка изготовителями компонентов, применяемых в системах ПАЗ, руководств по безопасности в соответствии с приложением D стандарта МЭК 61508-2, в котором подробно изложены требования к содержанию этого документа. Тем не менее существует сложный вопрос классификации безопасных и опасных отказов. Классификация отказов изделия иногда определяется ограничениями его применения. Отсюда возникают трудности оценки отказоустойчивости и доли безопасных отказов. Как правило, изготовитель или поставщик применяемого в ПАЗ изделия не имеет прямого представления о параметрах процесса и условий окружающей среды, средств и ресурсов для контрольных проверок и тестирования. Точно так же системный интегратор обычно не имеет достаточной информации о конструкции элемента и поэтому полагается на информацию, представляемую поставщиком,

Опираясь на многолетний международный опыт сертификации в области функциональной безопасности, формируются отечественные сертификационные центры, на сайтах которых можно получить информацию о процедуре сертификации, которая содержит следующие основные этапы: анализ и оценка комплекта документации, оценка системы менеджмента качества, подготовка отчета об оценке соответствия стандартам серии МЭК 61508 [5].

Описанный в статье способ выбора компонентов для системы ПАЗ, в общем, соответствует способу 1Н, приведенному в стандарте МЭК 61508-2. Современная практика работ в

области функциональной безопасности показывает, что также необходимо применение способа 2Н, основанного на получении данных о надежности компонентов от конечных пользователей.

### Литература

1. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств». Утверждены приказом РТН № 533 от 15 декабря 2020 г.
2. ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. — М.: Стандартинформ, 2014. 58 с.
3. Ландрини Г. Критерии выбора компонентов с уровнем SIL3 для РСУ и систем ПАЗ в соответствии со стандартами МЭК. Часть 2 // Стандартизация и сертификация. 2009. № 4. С. 80–88.
4. Можяева И.А., Струков А.В. Особенности оценки показателей функциональной безопасности систем противоаварийной автоматической защиты с использованием деревьев неисправностей // Надежность. 2022. № 4. С. 45–54.
5. Реестр сертификатов соответствия в системе Endurance (<https://sil3.ru/reestr/>).

УДК: 658.512

## МОДЕЛЬ МЕТРИКИ И ЕЕ РОЛЬ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ

*А.Ю. Алеевская, А.В. Дышкантюк  
(СПбГМТУ, ООО «НТЦ «ТБ»)*

Современный этап развития высокотехнологичной продукции (далее — ВТП) характеризуется в первую очередь существенным повышением ее сложности и наукоемкости, а соответственно и стоимости. Основными особенностями развития ВТП на современном этапе можно считать следующие:

1. Существенное усложнение ВТП, его комплексный характер и как результат участие в создании и эксплуатации многих разнопрофильных предприятий;
2. Значительное повышение стоимости разработки, производства и эксплуатации ВТП и как результат рост стоимости самих образцов ВТП, а также стоимости их жизненного цикла (далее — ЖЦ) ВТП;
3. Многообразие возможных путей создания образцов ВТП, способных решать одинаковые задачи и как результат усложнение и повышение риска процесса принятия решений с учётом существенных стоимостных ограничений;
4. Резкое ускорение темпов старения образцов ВТП, в первую очередь морального;
5. Повышение роли инноваций с целью обеспечения требуемого технического уровня ВТП;
6. Рост зависимости эффективности использования ВТП по назначению от всестороннего обеспечения, обслуживания и управления.

46. Программный комплекс «ДПБ+ДПжб+РПЗ ПЛА» автоматизированного формирования таблиц и графических материалов по результатам всесторонней оценки рисков аварий на опасном производственном объекте .....	223
<i>А.В. Авраменко, В.П. Космачев, В.Ф. Лузанов, И.В. Степанов</i> (ООО «НТЦ «ТБ»)	
47. Методические подходы к идентификации возможных стадий возникновения аварий и оценке интегрального показателя риска аварий в интересах создания системы дистанционного контроля промышленной безопасности на опасных производственных объектах .....	229
<i>В.А. Ибадулаев, В.П. Космачев</i> (ООО «НТЦ «ТБ»)	
48. Опыт внедрения системы дистанционного контроля промышленной безопасности в части контроля технологических параметров .....	235
<i>Д.В. Ибадулаев, А.В. Казаков, С.В. Латынцева, И.В. Степанов</i> (ООО «НТЦ «ТБ», ООО «КИНЕФ», СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)	
49. Выбор и обоснование компонентов паз с учетом требований полноты безопасности. Подтверждение соответствия .....	245
<i>Ю.Д. Индык, И.А. Можсаева, А.В. Струков</i> (ООО «СПИК СЗМА»)	
50. Модель метрики и ее роль в процессе управления жизненным циклом высокотехнологичной продукции .....	253
<i>А.Ю. Алевская, А.В. Дышкантюк</i> (СПбГМТУ, ООО «НТЦ «ТБ»)	
51. Организация разработки безопасного программного обеспечения при создании автоматизированных систем .....	261
<i>С.В. Латынцева, И.В. Степанов, С.Н. Турусов</i> (СПбГЭТУ «ЛЭТИ», ООО «НТЦ «ТБ», ВНИТИ ЭМ)	
52. Зонирование территорий Российской Федерации по критерию потенциального территориального риска ЧС, источниками которого являются наводнения ....	267
<i>Е.В. Арефьева, И.Ю. Олтян</i> (1 НИЦ ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ))	
Комплексная безопасность на транспорте .....	271
53. Влияние шумовой обстановки в кабине воздушного судна и искажений канала записи на идентификационные признаки голоса и речи .....	272
<i>В.И. Арбузов, И.С. Сипаров</i> (Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации)	
54. Актуальные проблемы внедрения и использования технологии профилирования на воздушном транспорте .....	276
<i>А.И. Евсикова</i> (Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации)	

Ответственность за достоверность информации, точность фактов, цифр и цитат, а также за то, что в материалах нет данных, не подлежащих открытой публикации, несут авторы. В соответствии с Законом РФ «О средствах массовой информации» редакция имеет право не вступать в переписку с авторами. При перепечатке материалов ссылка на сборник Трудов XXVI конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» обязательна.

## **Технические средства предупреждения чрезвычайных ситуаций и противодействия терроризму**

**Труды XXVI Всероссийской научно-практической конференции. Том 2.**

Печатается в авторской редакции.  
Компьютерная верстка: М.П. Мамукелашвили, С.В. Иващенко  
Корректор: А.К. Райхчин, Е.А. Красикова

Подписано в печать 06.10.2023  
Формат 60×84/8. Печать цифровая  
Печ. л. 73,48  
Тираж 500 экз. Заказ № 8570

Отпечатано в типографии «Любавич»