

# Функциональная безопасность: Безопасное измерение температуры согласно IEC 61508

WKA Типовой лист IN 00.19

## Введение

При определенных условиях электронные термометры могут использоваться в системах безопасности согласно стандарту IEC 61508. При оценке систем безопасности необходимо принимать во внимание тип электронного термометра (термометр сопротивления или термопара), а также технические характеристики используемого преобразователя температуры.

В данном типовом листе описываются основы функциональной безопасности согласно IEC 61508 и приводятся советы по безопасному исполнению точки измерения температуры.

## Необходимость снижения риска

Из-за растущих ожиданий общества в области безопасности технического оборудования, риски, создаваемые техническими системами, со временем сократились еще больше. Были созданы руководящие принципы и стандарты с целью помочь каждому оператору осуществлять эксплуатацию своего объекта на высшем уровне безопасности. Основой обеспечения безопасности является анализ аварийных ситуаций и оценка рисков. Основной задачей является сокращение рисков, создаваемых техническими системами, и достижение уровня безопасности в соответствии с требованиями общества к мерам обеспечения безопасности.

Для предотвращения возникновения опасных аварийных ситуаций на объекте используются электрические/электронные/программируемые электронные системы (E/E/PE системы). Совокупность всех функций обеспечения безопасности, направленных на поддержание безопасного состояния объекта, называется автоматизированной системой безопасности (SIS) или системой обеспечения безопасности.

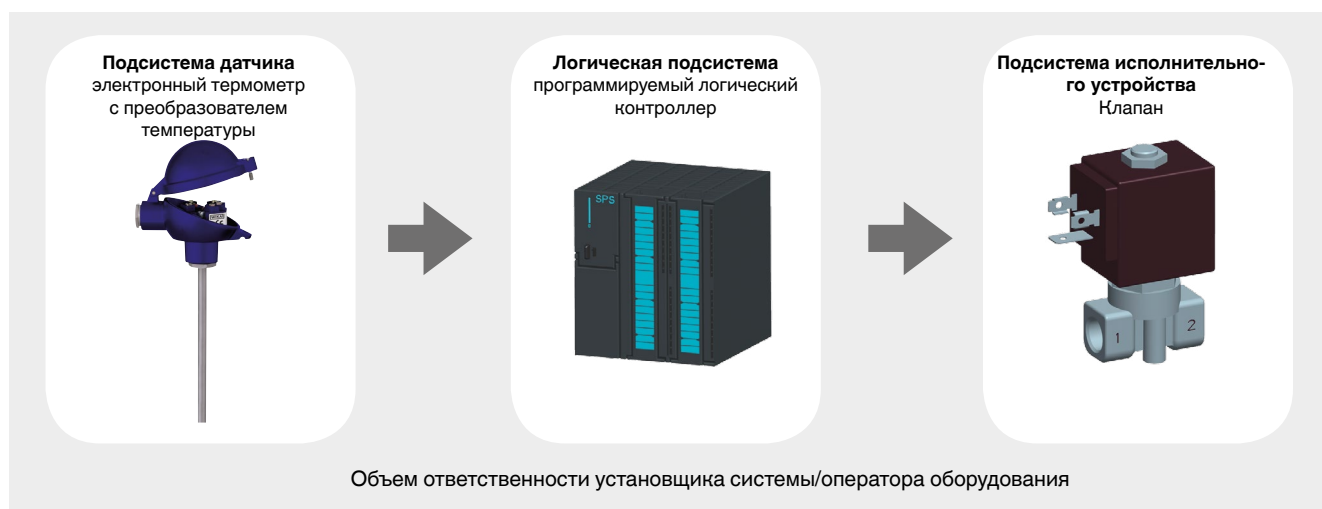
Примером такой системы является система контроля температуры, которая при превышении температурных пределов отключает подачу питания на оборудование, переводя его в режим безопасного состояния и таким образом предотвращая возникновение опасной ситуации.



## Архитектура системы обеспечения безопасности

Электрическая/электронная/программируемая электронная система обычно включает датчик, контроллер и исполнительное устройство. В этом случае речь идет об одноканальной архитектуре системы безопасности (система 1oo1). Архитектура описывает определенную конфигурацию аппаратных и программных элементов системы. Система 1oo1 состоит из одного канала, который должен работать корректно для обеспечения функции безопасности (1 из 1). У систем обеспечения безопасности с мультиканальной архитектурой аппаратные или программные средства выполнены с резервированием (см. «Резервирование системы»).

### Пример одноканальной архитектуры автоматизированной системы безопасности



Электронный термометр с преобразователем температуры модели T32.1S (монтаж в головку) и T32.3S (монтаж на рейку) может использоваться оператором в качестве подсистемы с датчиком в автоматизированной системе безопасности.



Преобразователь температуры модели T32.xS

## Законодательная база

Стандарт IEC 61508 «Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью» является основным стандартом безопасности. Стандарт определяет меры по предотвращению и ликвидации отказов оборудования и установок и может применяться независимо от промышленной отрасли.

IEC 61508 должен применяться в случае, когда

- функция безопасности выполняется E/E/PE системой
- отказ автоматизированной системы безопасности приведет к возникновению опасной для людей и окружающей среды ситуации
- не существует специального стандарта для данного исполнения системы безопасности

IEC 61508 отвечает современному техническому уровню относительно исполнения автоматизированных систем безопасности. Системы безопасности относятся к наилучшим из имеющихся технологий, и поэтому стандарт IEC 61508 должен неукоснительно соблюдаться.

Для проектировщиков, подрядчиков и операторов систем безопасности также имеются специализированные стандарты. Например, IEC 61511 «Функциональная безопасность: автоматизированные системы безопасности для перерабатывающего сектора промышленности» для перерабатывающей промышленности и EN 62061 «Безопасность оборудования: функциональная безопасность систем управления электрических, электронных и программируемых электронных, связанных с безопасностью» для машиностроительной промышленности.

Электронный термометр может использоваться в автоматизированной системе безопасности в соответствии со стандартом IEC 61508 вместе с преобразователем температуры, сертифицированным для применения в целях обеспечения безопасности. Температурный преобразователь модели T32.xS пр-ва WIKA разработан на основе стандарта IEC 61508, предназначен для использования в обрабатывающей промышленности и имеет сертификацию TÜV Rheinland.

Электронный термометр без преобразователя температуры, например термометр сопротивления или термопара, не подпадает под стандарт IEC 61508, так как измерительный резистор является простым электрическим компонентом, который не имеет функции самодиагностики или обнаружения ошибок.

Для электронных термометров без преобразователя температуры с сертификацией по IEC 61508 может быть определена только частота отказов. Причина состоит в том, что возможность определения типа отказов электронного термометра зависит от инструмента, используемого оператором.

При сертификации преобразователь температуры модели T32.xS рассматривается с использованием совместно с электронным термометром. В руководстве по технике безопасности «Информация о функциональной безопасности преобразователя температуры модели T32.xS» приводится описание безопасных значений характеристик преобразователя температуры, подсоединенных датчиков температуры и всей системы в сборе.

В целях оценки подсистема с датчиком разделена на такие элементы, как электронный термометр (датчик температуры) и преобразователь температуры. Датчики температуры классифицируются как компоненты типа A (простые компоненты), а преобразователь температуры как компонент типа B (сложный компонент).

### Подсистема с датчиком, включающая преобразователь температуры и датчик температуры



## Оценка систем безопасности

Вероятность выполнения функции безопасности по запросу (например, при возникновении отказа системы) определяется полнотой безопасности. Для определения объема требований к полноте безопасности требования поделены на четыре уровня полноты безопасности (SIL). Если достигнут уровень SIL 4, вероятность выполнения функции безопасности максимальна, и таким образом обеспечивается максимальное сокращение рисков.

### Уровни полноты безопасности



Термин «SIL» является важным параметром системы безопасности, но часто используется в качестве синонима понятия «функциональная безопасность».

Уровень полноты безопасности всегда относится ко всей системе безопасности. У элемента системы может не быть SIL, но он все равно может использоваться в рамках SIL. Например, преобразователь температуры модели T32.xS сам по себе не является системой обеспечения безопасности. Оператор несет ответственность за определение и поддержание требуемого уровня полноты безопасности, а также всей системы безопасности и отдельных элементов!

Будучи производителем электронных термометров, компания WIKA оказывает поддержку пользователей в данной сфере. С одной стороны, подтверждая выполнение требований стандарта IEC 61508, например, при разработке модели T32.xS. С другой стороны, обеспечивая оператора соответствующими техническими данными по безопасности исполнения оборудования и данными оценки функции безопасности.

## Требования к системе безопасности

Для создания точки измерения температуры, оптимизированной для системы безопасности, необходимо учитывать следующие факторы:

- Безопасное состояние оборудования и функция безопасности каждого элемента должны определяться оператором оборудования.
- Требуемый уровень полноты безопасности должен определяться оператором системы безопасности посредством оценки рисков, например составления графиков риска.
- Условия эксплуатации термометра (технологическая среда, воздействие окружающей среды) должны четко определяться, чтобы совместно с компанией WIKA можно было создать оптимальную точку измерения температуры.
- Инструкции, приводимые в документации WIKA на термометр, должны соблюдаться.
- Необходимо гарантировать соответствие смачиваемых компонентов с измеряемой средой.

Основой для обеспечения оптимальной безопасности в точке измерения температуры является правильное исполнение электронного термометра, соответствующее требованиям технологического процесса. Следующий шаг заключается в выборе преобразователя температуры, подходящего для систем безопасности, который способен определить максимальное количество типов своих отказов и отказов электронного термометра.

## Определение максимально достижимого уровня полноты безопасности на примере преобразователя температуры модели T32.xS

Для определения уровня полноты безопасности системы обеспечения безопасности необходимо определить требования к полноте безопасности по отношению к систематическим отказам и требования к полноте безопасности аппаратных средств.

### Полнота безопасности по отношению к систематическим отказам

Для выполнения требований к полноте безопасности по отношению к систематическим отказам необходимо принимать во внимание систематические отказы. К систематическим отказам относятся конструкционные отказы, производственные дефекты или рабочие отказы. Сократить количество отказов можно, выполняя меры по обеспечению безопасности, описанные в стандарте IEC 61508, которые необходимо соблюдать в течение всего срока эксплуатации (жизненного цикла) технической системы. Безопасный цикл жизни системы обеспечения безопасности начинается с момента производства и заканчивается в момент вывода из эксплуатации. При разработке модели T32.xS в рамках управления безопасностью были предотвращены систематические отказы, например, посредством выполнения действий по подтверждению соответствия и проверки, а также планирования и документирования. Таким образом, программное обеспечение модели T32.xS отвечает критериям уровня SIL 3 полноты безопасности.

### Полнота безопасности аппаратного обеспечения

#### Эпизодические отказы

Для оценки полноты безопасности аппаратного обеспечения необходимо учитывать эпизодические отказы. Причиной таких отказов является случайное изменение характеристик компонентов, например обрыв в цепи, короткое замыкание или изменение в значении конденсатора в электрической цепи. Эпизодических отказов нельзя избежать. Рассчитать можно только вероятность появления таких отказов. Частота отказов рассчитывается в FIT (Failures in Time – отказы за время).

Определяется как:  $1 FIT = 10^{-9} \frac{1}{h}$

Общее количество всех отказов за интервал времени при постоянной частоте определяется как основная частота отказов  $\lambda_B$ . Основная частота отказов состоит из опасных отказов  $\lambda_D$  = опасные, и безопасных отказов  $\lambda_S$  = безопасные, которые влияют на функцию безопасности.

$$\lambda = \lambda_S + \lambda_D$$

Разделение на опасные и безопасные отказы зависит от того, определяется ли отказ посредством диагностической функции электронных средств системы безопасности или остается неопределенным.

Разделение частоты отказов по типам



## Типы отказов электронного термометра

У электронного термометра могут возникать следующие отказы:

- Разрыв в цепи – разрывается измерительная цепь
- Короткое замыкание – непреднамеренное соединение двух соединительных кабелей
- Дрифт из-за изменения материала резистора или дрейф термоэлектрического напряжения
- Изменение сопротивления проводников, например, при изменении температуры

В зависимости от функций обнаружения отказов используемого преобразователя температуры должен определяться тип неисправности ( $\lambda_{SD}$ ,  $\lambda_{SU}$ ,  $\lambda_{DD}$ ,  $\lambda_{DU}$ ) для различных отказов электронного термометра.

**Таблица 1:** Определение отказа на примере преобразователя температуры модели T32.xS

Возможные причины отказа электронного термометра	Термометр сопротивления, 2-проводная схема	Термометр сопротивления, 3-проводная схема	Термометр сопротивления, 4-проводная схема	Термопара
<b>Разрыв в цепи</b>	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$
<b>Короткое замыкание</b>	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DU}$
<b>Дрифт</b>	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DU}$
<b>Изменение в сопротивлении выводов</b>	$\lambda_{DU}$	$\lambda_{DD}^{1)}$	$\lambda_{DD}$	$\lambda_{DD}$

1) Изменение сопротивления проводников 3-проводной схемы может быть определено на основе понимания того, что соединительные кабели между измерительным резистором и преобразователем имеют одинаковую длину и одинаковое поперечное сечение проводника.

В литературе частота отказов термопар и термометров сопротивления указывается для различных применений и конфигураций. Частота отказов базируется на «худшем случае» отказа термометра и служит в качестве ориентира при разработке автоматизированных систем безопасности. Частота отказов должна использоваться с учетом эксплуатационных условий и типа соединительного кабеля между точкой измерения и преобразователем. Частота различается в соответствии с требованиями к защите от вибрации на производственной площадке (малые нагрузки / большие нагрузки) и типом соединения между точкой измерения и преобразователем температуры (без удлинительного провода / с удлинительным проводом) (см. «Определения и сокращения»).

**Таблица 2:** Частота отказов у термопар без преобразователя температуры 2)

Тип отказа	Без удлинительного провода		С удлинительным проводом	
	Малые нагрузки	Большие нагрузки	Малые нагрузки	Большие нагрузки
<b>Разрыв в цепи</b>	95 FIT (отказов за время)	1900 FIT (отказов за время)	900 FIT (отказов за время)	18000 FIT (отказов за время)
<b>Короткое замыкание</b>	4 FIT (отказов за время)	80 FIT (отказов за время)	50 FIT (отказов за время)	1000 FIT (отказов за время)
<b>Дрифт</b>	1 FIT (отказов за время)	20 FIT (отказов за время)	50 FIT (отказов за время)	1000 FIT (отказов за время)

2) Указанные значения частоты отказов основаны на расчетах, выполненных компанией WIKA с использованием ключевых данных с ресурса exida.com L.L.C. (см. стр. 12 «Литература и источники», «Exida»)

**Таблица 3:** Частота отказов у термометров сопротивления с 4-проводной схемой без преобразователя температуры <sup>2)</sup>

Тип отказа	Без удлинительного провода		С удлинительным проводом	
	Малые нагрузки	Большие нагрузки	Малые нагрузки	Большие нагрузки
<b>Разрыв в цепи</b>	42 FIT (отказов за время)	830 FIT (отказов за время)	410 FIT (отказов за время)	8200 FIT (отказов за время)
<b>Короткое замыкание</b>	3 FIT (отказов за время)	50 FIT (отказов за время)	20 FIT (отказов за время)	400 FIT (отказов за время)
<b>Дрифт</b>	6 FIT (отказов за время)	120 FIT (отказов за время)	70 FIT (отказов за время)	1400 FIT (отказов за время)

**Таблица 4:** Частота отказов у термометров сопротивления с 2-и 3-проводной схемой без преобразователя температуры <sup>2)</sup>

Тип отказа	Без удлинительного провода		С удлинительным проводом	
	Малые нагрузки	Большие нагрузки	Малые нагрузки	Большие нагрузки
<b>Разрыв в цепи</b>	38 FIT (отказов за время)	758 FIT (отказов за время)	371 FIT (отказов за время)	7410 FIT (отказов за время)
<b>Короткое замыкание</b>	1 FIT (отказов за время)	29 FIT (отказов за время)	10 FIT (отказов за время)	190 FIT (отказов за время)
<b>Дрифт</b>	9 FIT (отказов за время)	173 FIT (отказов за время)	95 FIT (отказов за время)	1900 FIT (отказов за время)

<sup>2)</sup> Указанные значения частоты отказов основаны на расчетах, выполненных компанией WIKA с использованием ключевых данных с ресурса exida.com L.L.C. (см. стр. 12 «Литература и источники», «Exida»)

## Ограничение по уровню полноты безопасности элемента

Максимально достигаемый SIL элемента системы безопасности ограничен следующими факторами:

- Соотношение безопасных отказов аппаратного элемента (доля безопасных отказов, SFF)
- Допуск на отказы аппаратного обеспечения (HFT)  
Допуск на отказы аппаратного обеспечения обозначает меру степени резервирования системы безопасности. Допуск на отказы аппаратного обеспечения N, N+1 означает минимальное количество ошибок, которые могут привести к потере функции безопасности. У автоматизированной системы безопасности с одноканальной архитектурой допуск на отказы аппаратного обеспечения равен 0.
- Комплексность компонентов (компоненты типа А и В)
  - Компоненты типа А в основном являются компонентами, у которых характеристика отказа определена полностью и чьи отказы установлены. К компонентам типа А относятся, например, термометры сопротивления и термопары.
  - У сложных компонентов типа В не полностью или вообще не определена характеристика отказа по крайней мере одного элемента. К компонентам типа В относится, например, электронная цепь с микропроцессором. Преобразователь температуры Т32.xS определен как компонент типа В (см. таблицу 5).

Чтобы рассчитать значение SFF для термометров сопротивления и термопар, которые подсоединены к преобразователю температуры Т32.xS, необходимо разделить частоту отказов датчиков температуры на категории ( $\lambda_S$ ,  $\lambda_{DD}$ ,  $\lambda_{DU}$ ), принимая во внимание диагностическую функцию преобразователя. В результате значение SFF может быть рассчитано по следующей формуле:

$$SFF = \frac{\lambda_{DD} + \lambda_S}{\lambda_{DU} + \lambda_{DD} + \lambda_S}$$

Таким образом, датчики температуры, определенные как компоненты типа А с одноканальной архитектурой (HFT = 0), должны использоваться в автоматизированных системах безопасности SIL 2, а SFF ≥ 60 % сохраняется в соответствии с таблицей 5. Для того же применения в отношении преобразователя температуры Т32.xS, относящегося к компонентам группы В, требуется SFF ≥ 90 %.

**Таблица 5:** Максимальный уровень полноты безопасности компонента, зависящий от допуска на отказы аппаратного обеспечения, комплексность компонентов и доля безопасных отказов

SFF	Допуск на отказы аппаратного обеспечения					
	0		1		2	
	Тип А	Тип В	Тип А	Тип В	Тип А	Тип В
< 60 %	SIL 1	недопустимо	SIL 2	SIL 1	SIL 3	SIL 2
60... < 90 %	SIL 2	SIL 1	SIL 3	SIL 2	SIL 4	SIL 3
90... < 99 %	SIL 3	SIL 2	SIL 4	SIL 3	SIL 4	SIL 4
≥ 99 %	SIL 3	SIL 3	SIL 4	SIL 4	SIL 4	SIL 4

Преобразователь температуры и датчик температуры могут использоваться в автоматизированных системах безопасности с соответствующим SIL, только если их значение SFF соответствует указанным пределам. Более того, значение PFD всей функции безопасности должно соответствовать требованиям в таблице 6.



## Ограничение SIL всей системы безопасности

Стандарт IEC 61508 определяет значения, ограничивающие уровень полноты безопасности всей системы безопасности. В зависимости от того, как часто требуется система безопасности, различают два значения характеристик:

■ **PFH** (вероятность опасного отказа в течение часа)  
Средняя частота опасного отказа функции безопасности в рабочем режиме с высокой или непрерывной частотой запросов (высокий запрос). Такие режимы особенно актуальны для машиностроительной промышленности.

■ **PFDavg** (вероятность отказа при запросе)  
Средняя вероятность опасного отказа при запросе функции безопасности для рабочего режима с низкой частотой запросов (низкий запрос).

Tproof означает интервал периодических испытаний. После данного интервала на протяжении соответствующего испытания (проверочного испытания) система переводится в почти «как новое» состояние в рамках установленного срока службы. При помощи этого испытания могут определяться опасные, необнаруживаемые отказы. Для электронного термометра гарантия того, что измеренное значение соответствует требуемой точности, обеспечивается регулярной калибровкой. При этом исключается неприемлемо большой дрейф.

При интервале проверочных испытаний в один год (Tproof = 8760 ч) следующие значения PFDavg рассчитываются для термометра сопротивления с 4-проводным соединением и подсоединенным преобразователем температуры модели T32.xS:

- Внешние условия: малые нагрузки
- Соединение между точкой измерения и преобразователем: без удлинительного провода
- Частота отказов  $\lambda_{DU} = 16 \text{ FIT}^3$

$$PFD_{avg} = 0,5 * \lambda_{DU} * T_{proof}$$

$$= 0,5 * 16 \text{ FIT} * 8760 \text{ h} = 7,15 * 10^{-5}$$

Таким образом, данная комбинация с учетом требований к значению PFDavg подходит для систем безопасности с уровнем полноты безопасности, увеличенным до SIL 2; однако по причине одноканальной структуры (см. «Ограничение по уровню полноты безопасности элемента») и SFF она ограничена до SIL 2.

Приведенная выше формула взята из стандарта IEC 61508. Считается, что 8-часовой временной период, необходимый для обновления системы, ничтожно мал по сравнению с интервалом проверочных испытаний в 8760 ч.

Значение PFDavg находится в практически линейном соответствии с интервалом проверочных испытаний, Tproof. Чем короче интервал проверочных испытаний, тем лучше достигается значение PFDavg. Аналогичным образом интервал проверочных испытаний может быть увеличен, если значение PFDavg всей системы меньше значения допустимого предела. Если интервал проверочных испытаний сокращается до полугода, значение PFDavg уменьшается вдвое, а если интервал увеличивается до 2-х лет – увеличивается вдвое.

Чем меньше значение PFDavg или PFH, тем больше достигаемый SIL всей системы. В таблице 6 значениям характеристик PFDavg или PFH придан уровень полноты безопасности.

**Таблица 6:** Ограничение SIL всей системы значениями PFDavg и PFH

Уровень полноты безопасности (SIL)	Средняя вероятность опасного отказа при запросе функции безопасности (PFDavg).	Средняя частота опасного отказа в течение часа (PFH)
4	$\geq 10^{-5}$ до $< 10^{-4}$	$\geq 10^{-9}$ до $< 10^{-8}$ ч <sup>-1</sup>
3	$\geq 10^{-4}$ до $< 10^{-3}$	$\geq 10^{-8}$ до $< 10^{-7}$ ч <sup>-1</sup>
2	$\geq 10^{-3}$ до $< 10^{-2}$	$\geq 10^{-7}$ до $< 10^{-6}$ ч <sup>-1</sup>
1	$\geq 10^{-2}$ до $< 10^{-1}$	$\geq 10^{-6}$ до $< 10^{-5}$ ч <sup>-1</sup>

3) см. стр. 12 «Литература и источники», руководство по технике безопасности «Информация о функциональной безопасности преобразователя температуры модели T32.xS»

Для оператора системы важным всегда является значение  $PFD_{avg}$  всей системы, а не одного элемента. Для оценки качества ориентира установлено следующее распределение значений  $PFD_{avg}$  для системы безопасности:

#### Доля значения PFD для датчика, контроллера и исполнительного устройства SIS



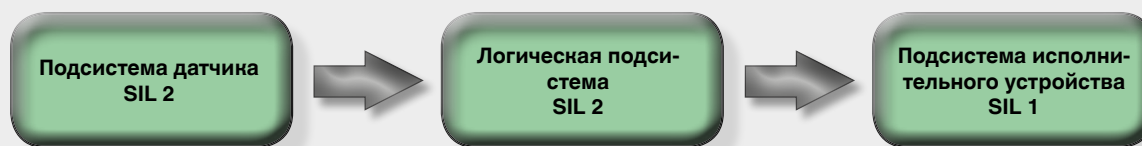
Другое распределение компонентов может быть определено оператором оборудования.

Если датчик использует менее 35 % от максимально допустимого значения  $PFD_{avg}$  системы безопасности, как, например, для электронного термометра с преобразователем температуры модели T32.xS, то оператор может использовать контроллер и исполнительное устройство с соответственно меньшими значениями  $PFD_{avg}$ .

#### Конструктивные ограничения

Конструктивные характеристики автоматизированной системы безопасности могут ограничивать максимально достижимый SIL. В одноканальной архитектуре максимальный SIL определяется самым слабым звеном. В проиллюстрированной системе безопасности подсистемы датчик и логический блок пригодны для SIL 2, тогда как подсистема «исполнительное устройство» пригодна только для SIL 1. Таким образом, вся система безопасности может достичь максимум SIL 1.

#### Компоненты системы обеспечения безопасности



## Резервные системы

Если два электронных термометра с преобразователем температуры модели T32.xS смонтированы параллельно, необходимо учитывать отказы, обусловленные общей причиной. Отказы, обусловленные общей причиной, могут возникать, например, когда внешние условия или электромагнитные помехи влияют одновременно на несколько каналов. Такие отказы воздействуют на все каналы резервной системы.

### Блок-схема надежности: электронный термометр с резервной конфигурацией



Электронные термометры, обозначенные на предыдущем рисунке, в данном случае представляют систему с двухканальной архитектурой (1oo2). Такая структура называется системой MooN. Система MooN (M out of N – M из N) включает N-независимые каналы, из которых M-каналы должны функционировать в безопасном режиме, чтобы вся система могла выполнять функцию обеспечения безопасности.

Возникновение отказов, обусловленных общей причиной, менее вероятно, если два электронных термометра с преобразователями температуры различаются по конструкции, принципу измерения и программному обеспечению. При этом, например, термометр сопротивления может использоваться для одного канала, а термопара – для другого канала. При измерении одна защитная гильза может использоваться для термометра сопротивления, а другая – для термопары, или одна гильза может использоваться для обоих приборов. При использовании одной защитной гильзы возникновение отказов, обусловленных одной причиной, наиболее вероятно. Разнообразие также достигается при использовании преобразователей температуры различных производителей, с различной конструкцией и программным обеспечением.

В частности, преимуществом преобразователя температуры WIKA модели T32.xS является возможность его использования в однородных резервных системах с SIL 3. Это означает, что электронный термометр с преобразователем температуры модели T32.xS параллельно подсоединен ко второму термометру с конструктивно идентичным преобразователем. В одноканальной архитектуре преобразователь пригоден для SIL 2. Благодаря полной разработке и сертификации всех элементов преобразователя температуры модели T32.xS согласно стандарту IEC 61508 («Разработка полной оценки»), преобразователь также подходит для использования в однородных резервированных узлах с SIL 3. Даже в процессе разработки мер предотвращения отказов ПО были рассчитаны для оборудования с SIL 3. Таким образом, преобразователь температуры модели T32.xS отличается от проверенных в эксплуатации приборов, подходящих только для применения в системах SIL.

Проверенные в эксплуатации полевые приборы с двухканальной архитектурой достигают SIL максимум отдельного инструмента. В отличие от преобразователя температуры модели T32.xS систематические отказы таких приборов не предотвращаются или не сокращаются, например, во время разработки.

Принимая во внимание влияние отказа по общей причине, для расчета значения PFD резервированных систем необходим фактор  $\beta$ . Фактор  $\beta$  связан с соотношением необнаруженных отказов, обусловленных общей причиной. Согласно стандарту IEC 61508-6 и с учетом 8-часового периода, необходимого для обновления системы, который ничтожно мал по сравнению с интервалом проверочных испытаний в 8760 ч, значение PFD для структуры 1oo2 рассчитывается по следующей упрощенной формуле:

$$PFD_{1oo2} = \frac{\lambda_{DU}^2 * T_{proof}^2}{3} + 0,5 * \lambda_{DU} * T_{proof} * \beta$$

Для определения фактора  $\beta$  сначала необходимо определить меры, уменьшающие возникновение отказов, обусловленных общей причиной. Посредством технической оценки совместно с компанией WIKA необходимо определить степень способности каждой меры к уменьшению возникновения отказов, обусловленных общей причиной.

## Краткая сводка рекомендаций

Для создания наилучшей точки измерения температур с точки зрения обеспечения безопасности необходимо соблюдать все требования, указанные в разделе «Требования к системе безопасности».

Кроме того, рекомендуется использовать преобразователь температуры модели T32.xS (монтаж в головку или монтаж на рейку) совместно с термометром сопротивления с 4-проводной схемой подключения или с термопарой. Высокий уровень безопасности при измерении температуры гарантируется широкими диагностическими возможностями модели T32.xS и преимуществами 4-проводной схемы подключения.

Для защиты измерительной вставки от воздействия технологической среды и обеспечения быстрой и простой калибровки электронного термометра необходимо использовать защитную арматуру и заменяемые измерительные вставки. При этом следует обратить внимание на соответствие конструкции защитной гильзы требованиям технологического процесса.

## Литература и источники

- 1.) IEC 61508:2010:  
Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью  
Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin (Берлин)
- 2.) Exida:  
Справочник по надежности оборудования для обеспечения безопасности – 3-е издание, 2012, exida.com L.L.C.
- 3.) Компания WIKA Alexander Wiegand SE & Co. KG  
Руководство по технике безопасности «Информация о функциональной безопасности преобразователя температуры модели T32.xS» (версии ПО от 2.2.3)

## Сокращения и определения

Сокращение	Определение
<b>Без удлинительного провода DC</b>	Преобразователь температуры расположен в соединительной головке электронного термометра (монтаж в головку).
<b>Удлинительный провод</b>	Преобразователь температуры расположен не в соединительной головке электронного термометра, а, например, в шкафу на расстоянии от точки измерения (дистанционный монтаж).
<b>FIT</b>	Отказы за время
<b>HFT</b>	Допуск на отказы аппаратного обеспечения
<b>Большие нагрузки</b>	Применение в условиях вибрации ( $\geq 67\%$ от максимальной виброустойчивости электронного термометра)
<b>Малые нагрузки</b>	Условия низкой вибрации ( $< 67\%$ от максимальной виброустойчивости электронного термометра)
<b>PFD<sub>avg</sub></b>	Средняя вероятность опасного отказа при запросе функции безопасности
<b>PFH</b>	Средняя частота опасного отказа функции безопасности
<b>RTD</b>	«Резистивный датчик температуры»; термометр сопротивления
<b>SFF</b>	Доля безопасных отказов аппаратного элемента
<b>SIS</b>	Автоматизированная система безопасности
<b>TC</b>	Термопара
<b>TR</b>	«Термосопротивление»; термометр сопротивления

## Влияние повторной оценки преобразователя температуры модели T32.xS (версии ПО от 2.2.3) на значения характеристик безопасности

В рамках повторной оценки никаких изменений, влияющих на обеспечение безопасности, в преобразователь температуры внесено не было. Диагностическое покрытие преобразователя осталось неизменным. Только новый метод оценки привел к изменению значений характеристик безопасности.

### Новая версия стандарта IEC 61508

С момента начальной оценки надежности преобразователя температуры модели T32.xS базовый стандарт функциональной безопасности (IEC 61508 «Функциональная безопасность электрических, электронных и программируемых электронных систем, связанных с безопасностью») был обновлен до версии IEC 61508:2010. Модель T32.xS с ПО от 2.2.3 будет оцениваться по данной версии стандарта.

### Обновленные значения частоты отказов

В данном случае FMEDA (анализ видов, последствий и диагностики отказов) был также выполнен заново с учетом текущих значений частоты отказа компонентов системы. Расчеты основывались на частоте отказов компонентов в соответствии со стандартом SN29500. Для термометров сопротивления и термопар, подсоединенных к преобразователю температуры, использовались значения частоты отказов, определенные компанией exida.com LLC.

### Элементный анализ подсистемы «датчик»

При введении термина «элемент» в стандарт IEC 61508-4:2010, раздел 3.4.5, соединение преобразователя температуры и электронного термометра в подсистему «датчик» стало рассматриваться и оцениваться следующим образом:

<b>Элемент 1</b> Электронный термометр без преобразователя (термопара или термометр сопротивления)  Тип A/SFF $\geq 60\%$ для HFT = 0 и SIL 2	<b>Элемент 2</b> Преобразователь температуры модели T32.xS (без термопары или термометра сопротивления)  Тип B/SFF $\geq 90\%$ для HFT = 0 и SIL 2
--	---

Такое раздельное рассмотрение отрицательно влияет на оценку значения SFF. Например, требуемое значение SFF уровня SIL 2 для термопар или термометров сопротивления падает до 60 %.

### Специализированные значения частоты отказов

При повторной оценке модели T32.xS значения частоты отказов определяются для конкретного применения в зависимости от уровня вибраций в точке установки электронного термометра и присоединения термометра к преобразователю. Кроме того, значения частоты отказов «автономного» преобразователя температуры рассчитываются для различных конфигураций.

### Заметно улучшенные значения частоты отказов

Значения частоты отказов преобразователя модели T32.xS с присоединенной термопарой или термометром сопротивления показали тенденцию к улучшению. В частности, интенсивность частоты опасных необнаруживаемых отказов в условиях «малых нагрузок, без удлинительных проводов» уменьшилась.

### Влияние на значение PFD<sub>avg</sub>

Значение PFD<sub>avg</sub> особенно улучшилось для применения в условиях «малых нагрузок, без удлинительных проводов». Это позволяет пользователю при необходимости или применять логические исполнительные подсистемы с большими значениями PFD<sub>avg</sub> в автоматизированных системах безопасности или увеличивать интервал проверочных испытаний.

