



Газоанализаторы стационарные
AXIOM
Руководство по функциональной безопасности
РУСГ.413216.004 РФБ

Чайковский
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

1 Введение	3
1.1 Цель руководства по функциональной безопасности	3
1.2 Область применения документа	3
1.3 Дополнительная документация и информация.....	3
2 Основные технические характеристики	4
2.1 Назначение	4
2.2 Основные технические характеристики.....	4
2.3 Применяемые стандарты.....	5
3 Общие сведения о функциональной безопасности	6
3.1 Системы безопасности	6
3.2 Уровень полноты безопасности (SIL)	7
3.3 Устойчивость к аппаратным отказам	7
4 Сведения для проектирования системы безопасности	8
4.1 Функция безопасности газоанализатора	8
4.2 Интерфейсы безопасности	9
4.3 Необходимые условия правильной эксплуатации.....	9
4.4 Критерии отказов и безопасное состояние	10
4.5 Тип элемента по ГОСТ Р МЭК 61508.....	11
4.6 Режим запросов функции безопасности.....	12
4.7 Стойкость к систематическим отказам.....	12
4.8 Допущения, сделанные для количественной оценки отказов (FMEDA).....	12
4.9 Показатели случайных отказов	12
4.10 Постоянная интенсивность отказов	13
4.11 Архитектурные ограничения	14
4.12 Монтаж и ввод в эксплуатацию	14
4.13 Периодическая проверка	14
4.14 Контрольная проверка функции безопасности	15
ПРИЛОЖЕНИЕ А (рекомендуемое) Форма протокола проверки функции безопасности.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное) Термины и определения	18

1 Введение

1.1 Цель руководства по функциональной безопасности

В настоящем руководстве по функциональной безопасности представлены общие концепции безопасности и связанные с безопасностью параметры газоанализаторов стационарных AXIOM (далее – газоанализатор). Изложены предварительные условия и вопросы, требующие внимания для применения газоанализатора в системах, связанных с безопасностью с уровнем полноты безопасности до УПБ 2 включительно.

Цель настоящего руководства по безопасности состоит в документальном оформлении информации, связанной с применяемыми газоанализаторами, которая необходима для обеспечения интеграции применяемого изделия в связанную с безопасностью систему, или подсистему, или элемент в соответствии с требованиями ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012.

1.2 Область применения документа

Руководство по безопасности распространяется на газоанализаторы стационарные AXIOM со следующими типами сенсоров:

- IR – инфракрасный сенсор;
- LEL – термокаталитический сенсор;
- EC – электрохимический сенсор;
- PID – фотоионизационный сенсор;
- MEMS – полупроводниковый сенсор.

В качестве интерфейса, связанного с безопасностью, используется токовая петля 4-20 мА.

В таблице 1.1 приведены параметры идентификации изделий, соответствующих требованиям функциональной безопасности, на которые распространяется данный документ.

Таблица 1.1

Модель	Версия HW электронного модуля	Версия SW прошивки электронного модуля	Версия HW Smart- сенсора	Версия SW прошивки Smart сенсора	Дата производства продукции
AXIOM IR	Не ниже v.1.8	Не ниже v.4.03.29	Не ниже v.1.2	Не ниже v.1.01.03	С 06.2025 по текущее время
AXIOM LEL			Не ниже v.1.3	Не ниже v.1.2.1	С 06.2025 по текущее время
AXIOM EC			Не ниже v.1.3	Не ниже v.3.06.02.	С 06.2025 по текущее время
AXIOM PID			Не ниже v.1.3	Не ниже v.1.1.1	С 06.2025 по текущее время
AXIOM MEMS			Не ниже v.1.2	Не ниже v.1.01.03	С 06.2025 по текущее время

1.3 Дополнительная документация и информация

Данное руководство по безопасности должно применяться совместно с руководством по эксплуатации РУСГ.413216.004 РЭ. Перед применением изделия в системах связанных с безопасностью необходимо внимательно изучить руководство по эксплуатации и общие сведения о эксплуатации газоанализатора.

Актуальное руководство по эксплуатации поставляется вместе с прибором.

Дополнительно актуальные версии эксплуатационной документации доступны на сайте www.mirax-safety.com в разделе продукция.

Для поверки газоанализатора необходимо использовать утвержденную методику поверки. Актуальная версия методики поверки поставляется с прибором, либо доступна на сайте.

По вопросам, связанным с функциональной безопасностью газоанализаторов и их применению в системах безопасности обращаться:

Общество с ограниченной ответственностью «Миракс»

E-mail: info@mirax-safety.com

Телефон: +7 (342) 259-88-55

2 Основные технические характеристики

2.1 Назначение

Газоанализаторы предназначены для измерения и передачи информации о содержании горючих газов и паров горючих жидкостей (в том числе газов, образованных в результате испарения горючих жидкостей, таких как нефть, керосин, бензин, дизельное топливо), токсичных газов и кислорода в воздухе рабочей зоны, технологических газовых средах, промышленных помещений и открытых пространств промышленных объектов, трубопроводах и воздуховодах; и подачи предупредительной сигнализации о превышении установленных пороговых значений.

Газоанализаторы могут использоваться в составе газоаналитических систем или в качестве самостоятельного изделия.

Принцип действия – измерение объемной доли компонента в газовой среде и преобразовании в токовый сигнал.

Способ отбора пробы – диффузионный или принудительная подача пробы (опционально).

Режим работы – непрерывный.

Анализируемая среда – воздух рабочей зоны по ГОСТ 12.1.005-88, а также газовая среда техпроцессов.

2.2 Основные технические характеристики

Газоанализатор предназначен для работы в климатических условиях:

- температура окружающей среды – от минус 60 °С до плюс 65 °С (от минус 60 °С до плюс 90 °С опционально);

- относительная влажность не более 98 %;

- атмосферное давление от 80 до 120 кПа;

- содержание механических и агрессивных примесей в контролируемой среде не должно превышать уровня ПДК согласно ГОСТ 12.1.005-88.

По устойчивости и прочности к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха газоанализаторы AXIOM соответствуют исполнению ДЗ по ГОСТ Р 52931-2008.

Газоанализаторы устойчивы к воздействию синусоидальной вибраций соответствующей группы исполнения V1 по ГОСТ Р 52931-2008.

В таблице 2.1 приведены основные технические характеристики газоанализатора.

Таблица 2.1

Наименование характеристики	Значение
Напряжение питания постоянного тока, В	от 12 до 36
Условия эксплуатации: - температура окружающего воздуха, °C - относительная влажность, % (без конденсации влаги), не более - атмосферное давление, кПа	от -60 до +65 от -60 до +90 (опция) 98 от 80 до 120
Время установления показаний $T_{0,9}$, с, не более ¹⁾ - для инфракрасного сенсора - для электрохимического сенсора - для термодаталитического сенсора - для фотоионизационного сенсора - для полупроводникового сенсора	 5 15 10 15 20
¹⁾ Без учета установленных защитных фильтров, а также, для фотоионизационного сенсора, периодичности измерений концентрации (периодичность определяется при заказе и может быть изменена пользователем).	

2.3 Применяемые стандарты

Функциональная безопасность

- ГОСТ Р МЭК 61508-1-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 1. Общие требования;

- ГОСТ Р МЭК 61508-2-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам;

- ГОСТ ИЕС 61508-3-2018 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению;

- ГОСТ Р МЭК 61508-4-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 4. Термины и определения;

- ГОСТ Р МЭК 61508-5-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 5. Рекомендации по применению методов определения уровней полноты безопасности;

- ГОСТ Р МЭК 61508-6-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2 и ГОСТ ИЕС 61508-3;

- ГОСТ Р МЭК 61508-7-2012 Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства.

Взрывобезопасность

- ГОСТ 31610.0-2019 Взрывоопасные среды. Часть 0. Оборудование. Общие требования;

- ГОСТ ИЕС 60079-1-2013 Взрывоопасные среды. Часть 1. Оборудование с видом взрывозащиты "взрывонепроницаемые оболочки "d";

- ГОСТ 31610.11-2014 Взрывоопасные среды. Часть 11. Оборудование с видом взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь «i»;

- ГОСТ ИЕС 60079-31-2013 Взрывоопасные среды. Часть 31. Оборудование с защитой от воспламенения пыли оболочками "t".

ЭМС

- ГОСТ Р 51317.2.4-2000 Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий;

- ГОСТ 30804.6.2-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний;

- ГОСТ 30804.4.2-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний;

- ГОСТ 30804.4.3-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний⁴

- ГОСТ 30804.4.4-2013 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний;

- ГОСТ Р 51317.4.5-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний;

- ГОСТ Р 51317.4.6-99 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний;

- ГОСТ Р 50648-94 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к магнитному полю промышленной частоты. Технические требования и методы испытаний;

- ГОСТ 30336-95 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к импульсному магнитному полю. Технические требования и методы испытаний.

3 Общие сведения о функциональной безопасности**3.1 Системы безопасности**

Системы, связанные с безопасностью (системы безопасности), предназначены для:

- предотвращения опасного события;
- ослабления последствий опасного события;
- предотвращения опасного события и ослабления его последствий.

Системы безопасности состоят, как минимум, из трех подсистем:

- подсистема датчиков;
- логическая подсистема (блок управления, ПЛК);
- подсистема исполнительных элементов (клапаны, задвижки, элементы оповещения и сигнализации).

Система может выполнять функцию безопасности в следующих режимах:

- с низкой частотой запросов, когда функция безопасности выполняется только по запросу с частотой не чаще одного раза в год;
- с высокой частотой запросов, когда частота запросов происходит чаще одного раза в год или в непрерывном режиме.

3.2 Уровень полноты безопасности (SIL)

В соответствии с ГОСТ Р МЭК 61508-1 для систем безопасности установлены четыре уровня полноты безопасности УПБ 1 (SIL 1), УПБ 2 (SIL 2), УПБ 3 (SIL 3), УПБ 4 (SIL 4). Каждому УПБ соответствует свой диапазон вероятности отказа функции безопасности системы в целом.

Чем выше уровень УПБ, тем выше вероятность выполнения такой системой функции безопасности.

Достижимый УПБ определяется следующими показателями функциональной безопасности:

- стойкость к систематическим отказам (CCO/SC);
- интенсивности отказов λ_{DD} , λ_{DU} , λ_{SD} , λ_{SU} ;
- средняя вероятность опасного отказа по запросу (PFD_{avg});
- устойчивость к аппаратным отказам (HFT);
- доля безопасных отказов (SFF);
- средняя частота опасного отказа в час (PFH, 1/ч).

Необходимо учитывать, что показатель УПБ присваивается системе безопасности в целом, по отношению к конкретному опасному событию (конкретной функции безопасности). При этом, для возможности интеграции отдельных устройств в систему безопасности им присваивается собственный УПБ и устанавливаются собственные показатели функциональной безопасности по отношению к заявляемой функции безопасности конкретного элемента.

Для системы безопасности в режиме с низкой частотой запросов УПБ определяется диапазоном значений средней вероятности опасного отказа по запросу (PFD_{avg}) в соответствии с данными таблицы 3.1.

Таблица 3.1

УПБ (SIL)	PFD_{avg}
4	$10^{-5} \leq PFD_{avg} < 10^{-4}$
3	$10^{-4} \leq PFD_{avg} < 10^{-3}$
2	$10^{-3} \leq PFD_{avg} < 10^{-2}$
1	$10^{-2} \leq PFD_{avg} < 10^{-1}$

Средняя вероятность опасного отказа по запросу (PFD_{avg}) системы в целом определяется надежностью каждой из трех подсистем.

В непрерывном режиме УПБ определяется диапазоном значений средней частоты опасного отказа в час (PFH) в соответствии с данными таблицы 3.2.

Таблица 3.2

УПБ (SIL)	PFH, 1/ч
4	$10^{-9} \leq PFH < 10^{-8}$
3	$10^{-8} \leq PFH < 10^{-7}$
2	$10^{-7} \leq PFH < 10^{-6}$
1	$10^{-6} \leq PFH < 10^{-5}$

3.3 Устойчивость к аппаратным отказам

Для элементов типа А по ГОСТ Р МЭК 61508-2, достигаемый УПБ определяется устойчивостью к аппаратным отказам (HFT) и долей безопасных отказов (SFF, %) в соответствии с данными таблицы 3.3.

Таблица 3.3

SFF	HFT		
	0	1	2
< 60 %	УПБ 1	УПБ 2	УПБ 3
60...90 %	УПБ 2	УПБ 3	УПБ 4
90...99 %	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4
> 99 %	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4

Для элементов типа В по ГОСТ Р МЭК 61508-2, достигаемый УПБ определяется устойчивостью к аппаратным отказам (HFT) и долей безопасных отказов (SFF, %) в соответствии с данными таблицы 3.3.

Таблица 3.3

SFF	HFT		
	0	1	2
< 60 %	Не оговаривается	УПБ 1	УПБ 2
60...90%	УПБ 1	УПБ 2	УПБ 3
90...99%	УПБ 2	УПБ 3	УПБ 4
> 99%	УПБ 3	УПБ 4	УПБ 4

Отказоустойчивость аппаратных средств HFT N означает, что N+1 отказ является минимальным числом отказов, которые могут привести к потере функции безопасности.

В определении отказоустойчивости не должны учитываться средства, которые могли бы контролировать последствия ошибок, например диагностика.

Величина отказоустойчивости аппаратных средств HFT определяется в зависимости от канальной архитектуры подсистемы.

4 Сведения для проектирования системы безопасности

4.1 Функция безопасности газоанализатора

Функцией безопасности газоанализатора АХИОМ является измерение содержания горючих газов и паров горючих жидкостей и выдача информации в виде выходного аналогового сигнала постоянного тока от 4 до 20 мА.

Значение концентрации, выводимой по токовой петле, рассчитывается с помощью номинальной статической функции преобразования по формуле (1). Функция показывает зависимость силы электрического тока выходного сигнала от концентрации определяемого компонента.

$$I_{ном} = 16 \cdot \frac{C_i}{C_{max}} + 4, \quad (1)$$

где $I_{ном}$ – выходной ток, мА;

C_i – измеренная концентрация, % об;

C_{max} – максимальное значение объемной доли определяемого компонента, соответствующее выходному току 20 мА.

Расчет измеренной концентрации проводится по формулам (2) и (3).

$$C = \frac{I_i - I_0}{K}, \quad (2)$$

где I_i – выходной ток газоанализатора в точке проверки (мА);
 I_0 – начальный выходной ток газоанализатора 4 мА;
 K – коэффициент преобразования:

$$C = \frac{16 \text{ мА}}{C_{\max} - C_{\min}}, \quad (3)$$

где $C_{\max}$ – максимальная концентрация диапазона измерения;
 $C_{\min} - 0$ – минимальная концентрация диапазона измерения

Погрешность безопасности газоанализатора определяется метрологическими характеристиками. Диапазоны измерений компонентов и пределы допускаемой основной погрешности AXIOM доступны на сайте предприятия-изготовителя mirax-safety.com. В разделе продукция необходимо найти датчик AXIOM, и в столбце «Файлы» подзаголовок «Описание типа», где и содержится необходимая метрологическая информация.

Предел допускаемого интервала времени работы газоанализатора без корректировки выходного сигнала – не менее 6 месяцев.

4.2 Интерфейсы безопасности

Интерфейсом, связанным с безопасностью газоанализатора, является токовый выходной аналоговый сигнал от 4 до 20 мА.

Интерфейсы, не связанные с безопасностью:

- OLED дисплей;
- светодиод "Status" вверху лицевой панели;
- 2 светодиода, расположенные сверху для визуальной сигнализации о достижении пороговых значений или возникновении неисправностей;
- дискретные сигналы ПОРОГ 1, ПОРОГ 2, ПОРОГ 3/ АВАРИЯ;
- протокол HART (локальный или по токовой петле);
- RS-485;
- беспроводная связь по протоколам Mxair, LoRaWAN, LoRa, E-WIRE;
- подключение к газоанализатору по Bluetooth.

Внимание! Интерфейсы, не связанные с безопасностью, не должны учитываться при выполнении функции безопасности, информация, предоставляемая по данным интерфейсам, не должна использоваться в качестве влияющей на безопасность. Надежность и показатели отказов указанных интерфейсов не гарантируется.

Внимание! В приложениях, связанных с обеспечением безопасности не допускается использование сигнала HART в процессе выполнения функции безопасности изделия. HART сигнал может использоваться только для настройки, калибровки, проверки газоанализатора, а также в периоды, когда выполнение функции безопасности не требуется. При работе HART функция безопасности газоанализатора должна оцениваться как ненадежная.

4.3 Необходимые условия правильной эксплуатации

Для правильной эксплуатации газоанализаторов в приложения безопасности необходимо соблюдать следующие условия дополнительно к общим условиям эксплуатации, указанным в руководстве по эксплуатации:

- при выборе мест размещения сигнализаторов следует руководствоваться ГОСТ IEC 60079-29-2;
- для оценки эффективности газоаналитических систем рекомендуется использовать рекомендации указанные в ISA-TR84.00.07;
- при использовании принудительного отбора пробы следует руководствоваться требованиями ГОСТ IEC 60079-29-3;
- не допускается эксплуатация газоанализаторов в условиях, не соответствующих требованиям руководства по эксплуатации;
- пароль доступа в режимах настройки и калибровки датчиков должен быть изменен на отличный от значения по умолчанию (значение по умолчанию, установленное на заводе-изготовителе «0000»);
- поскольку газоанализаторы являются только одной из составляющих общей функции безопасности, все составные части газоаналитической системы безопасности должны соответствовать предусмотренному УПБ;
- диапазон напряжения питания и максимальное сопротивление нагрузки по цепи постоянного тока от 4 до 20 мА должны соответствовать требованиям руководства по эксплуатации;
- перед включением газоанализатора в систему безопасности должна быть проведена его калибровка и проверка выполняемых функций безопасности;
- в системе безопасности должна быть реализована автоматическая и непрерывная функция диагностики, выявляющая отказы газоанализатора (подробнее смотрите раздел 4.4 данного руководства);
- должны быть приняты во внимание допущения при определении показателей функциональной безопасности (подробнее смотрите раздел 4.8 данного руководства).

4.4 Критерии отказов и безопасное состояние

Газоанализатор по отношению к выполняемым функциям безопасности может находиться в следующих состояниях:

Нормальное состояние: в данном состоянии газоанализатор выполняет заявленную функцию безопасности и формирует выходной сигнала от 4 до 20 мА, соответствующий концентрации измеряемого компонента с погрешностью не превышающей погрешность безопасности.

Безопасный отказ: в данном состоянии в газоанализаторе происходит отказ, при котором фактический выходной сигнал отклоняется более чем на заявленную погрешность безопасности, смещается в сторону заданного пользователем порога срабатывания (завышение показаний). Ложное срабатывание системы безопасности.

Опасный отказ: в данном состоянии в газоанализаторе происходит отказ, при котором фактический выходной сигнал отклоняется более чем на заявленную погрешность безопасности, отклоняется от заданного пользователем порога срабатывания (занижение показаний). Несрабатывание системы защиты.

К опасным отказам также отнесены отказы, при которых газоанализатор не реагирует на изменение концентрации измеряемого компонента, а также отказы, при которых происходит отказ формирования токовой петли 4-20 мА, включая выходы за диапазон ($<3,8 \text{ мА}$ и $> 21,5 \text{ мА}$).

Нет эффекта: в данном состоянии в газоанализаторе происходит отказ, при котором, отсутствует эффект на заявленную функцию безопасности. При расчете SFF и других показателей случайных отказов этот режим отказа не учитывается.

Дополнительно опасные отказы газоанализатора подразделяются на диагностируемые и не диагностируемые.

К диагностируемым опасным отказам газоанализатора относятся такие отказы, при которых внешняя система (логический элемент системы безопасности) в автоматическом режиме обнаруживает состояние неисправности газоанализатора и в соответствии с реализованным алгоритмом имеет возможность достичь безопасного состояния.

Для сообщения внешней системе о неисправности используется значение выходного тока газоанализатора $<3,8 \text{ мА}$ и $> 21,5 \text{ мА}$.

Более точные значения выходного тока газоанализатора в зависимости от его состояния для проектирования системы безопасности приведены в таблице 4.1

Таблица 4.1

Функция	Значение/параметр	Описание	Вид отказа в терминах функциональной безопасности
Выходные сигналы	0 мА	Неисправность токовой петли, неисправность газоанализатора	Опасный диагностируемый
	1,5 мА	Неисправность газоанализатора	Опасный диагностируемый
	2 мА	Прогрев при включении	Не является отказом при включении и запуске в работу. В ином случае опасный диагностируемый
	3 мА	Сервисный режим	Не является отказом при запуске сервисного режима. В ином случае опасный диагностируемый
	$< 3,8 \text{ мА}$	Неготовность выполнять функцию безопасности	Опасный диагностируемый, исключая 2 мА и 3 мА при включении и в сервисном режиме.
	от 3,8 мА до 4,0 мА	Неиспользуемый диапазон	-
	от 4,0 мА до 20,0 мА	Нормальный режим измерения	-
	от 20 мА до 20,5 мА	Выход за диапазон измерений, сбой калибровки	-
	23,0 мА	Превышение допустимого предела	Опасный диагностируемый

Для правильной работы система безопасности должна быть соответствующим образом настроена на выявление состояния отказа газоанализатора в соответствии с указанными выше значениями токового сигнала.

Внимание! В сервисном режиме и режиме прогрева при включении значение токового сигнала устанавливается на уровне 2 мА (прогрев) и 3 мА (сервисный режим). Необходимо учитывать данное значение для исключения ложных срабатываний системы безопасности при ее запуске.

4.5 Тип элемента по ГОСТ Р МЭК 61508

Газоанализатор AXIOM относится к компоненту типа В по ГОСТ Р МЭК 61508.

4.6 Режим запросов функции безопасности

Газоанализатор AXIOM пригоден для работы в режиме с низкой частотой запросов (low demand mode) и высокой частотой запросов (high demand mode).

4.7 Стойкость к систематическим отказам

Газоанализатор AXIOM соответствуют требованиям, предъявляемым к уровню полноты безопасности УПБ 2 (SIL 2) для предотвращения внесения систематических ошибок во время разработки и создания аппаратных средств и программного обеспечения. Уровень стойкости к систематическим отказам ССО 2 (SC 2).

Уровень стойкости к систематическим отказам ССО 2 (SC 2) позволяет применять газоанализаторы в системах безопасности с требованиями до УПБ 2 включительно (УПБ 1 и УПБ 2).

4.8 Допущения, сделанные для количественной оценки отказов (FMEDA)

Для определения интенсивностей отказов и доли безопасных отказов специалистами был выполнен FMEDA анализ устройства.

Анализ режимов отказов и их последствий (FMEA) — это системный способ определения и оценки влияния разных типов отказов компонентов, позволяющий понять, каким образом можно устранить или снизить вероятность отказа, а также документального описания архитектуры устройства.

Анализ режимов отказов, их последствий и диагностики (FMEDA) — это расширенная версия FMEA. Данный метод объединяет стандартные методы FMEA с дополнительными методами, чтобы определить способы диагностики и режимы отказов, относящиеся к выполнению функции безопасности устройства.

При определении количественных показателей отказов при проведении FMEDA были приняты следующие допущения:

- принятые значения интенсивности отказов элементов – по SN 29500;
- интенсивность отказов является постоянной величиной на интервале полезного срока службы изделия;
- распространение отказов не рассматривается;
- отказы, возникающие в процессе изменения параметров, регулировки и проверки газоанализаторов, не рассматриваются;
- отказом считается невозможность выполнения заявленной функции безопасности;
- отказы внешних источников питания не учитываются;
- среднее время ремонта (MTTR) составляет 8 часов;
- перед включением газоанализатора в систему (подсистему) безопасности, его работоспособность проверена в соответствии с руководством по эксплуатации;
- при эксплуатации температура и относительная влажность окружающей среды не превышают требований эксплуатационной документации.

4.9 Показатели случайных отказов

Показатели случайных отказов приведены в таблице 4.2. Показатели определены по результатам FMEDA-анализа с учетом принятых допущений.

Таблица 4.2

Модель	λ_{SD}, FIT	λ_{SU}, FIT	λ_{DD}, FIT	λ_{DU}, FIT	SFF, %	PFD_{avg}	PFH, 1/час
AXIOM PID	0	86	877	91	91,4	$4,06 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-8}$
AXIOM LEL	0	156	1380	163	90,4	$7,27 \cdot 10^{-4}$	$1,63 \cdot 10^{-7}$
AXIOM IR	0	66	735	70	91,9	$3,13 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$
AXIOM EC	0	106	967	111	90,6	$4,96 \cdot 10^{-4}$	$1,11 \cdot 10^{-7}$
AXIOM MEMS	0	66	735	70	91,9	$3,13 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-8}$
FIT = 1отказ/10 ⁹ часов - единица измерения интенсивности отказов. PFDavg рассчитано для Tproof = 1 год							

* *Примечание: указанные в таблице 4.2 интенсивности отказов рассчитаны для максимальной температуры эксплуатации +60°C. Опционально газоанализаторы могут иметь максимальную температуру эксплуатации +90°C, при данной температуре эксплуатации интенсивности отказов, указанные в таблице 4.2 необходимо пересчитать, умножив на коэффициент 2,5.*

- Показатель PFDavg для архитектуры 1oo1 рассчитан по формуле (4).

$$t_{CE} = \frac{\lambda_{DU}}{\lambda_D} \left(\frac{T_1}{2} + \text{MRT} \right) + \frac{\lambda_{DD}}{\lambda_D} \text{MTTR} \quad (4)$$

$$\text{PFD}_G = (\lambda_{DU} + \lambda_{DD}) t_{CE} \quad (5)$$

где T1 – периодичность контрольных тестов (принято 1 год);
MTTR – среднее время восстановления (принято 8 часов).

- Показатель PFH для архитектуры 1oo1 рассчитан по формуле (6).

$$\text{PFH} = \lambda_{DU} \quad (6)$$

Указанные значения PFDavg и PFH приведены в качестве примера. PFDavg/PFH всей приборной системы безопасности, в которую интегрируется газоанализатор должен быть рассчитан с учетом избыточных архитектур, интервала контрольных проверок, эффективности контрольных проверок, любой автоматической диагностики, среднего времени ремонта и конкретной интенсивности отказов всех элементов системы, включенных в контур безопасности.

Для более точного расчёта PFDavg рекомендуется учитывать коэффициент неидеальных контрольных проверок функции безопасности (см. ГОСТ Р МЭК 61508-6). Коэффициент покрытия контрольной проверки указан в разделе 4.14 настоящего руководства по безопасности в зависимости от типа контрольной проверки.

4.10 Постоянная интенсивность отказов

В методе вероятностной оценки предполагается постоянная интенсивность отказов. Это применимо только при том условии, что не превышает срок службы компонентов. За пределами срока их службы результат метода вероятностного расчета теряет смысл, поскольку со временем значительно увеличивается вероятность отказов. Срок службы изменяется и сильно зависит от самого компонента и других факторов, включая, среди прочего, его рабочую частоту и условия – в частности, температуру.

Предположение о постоянной интенсивности отказов основывается на U-образной кривой, которая демонстрирует типичное поведение для электронных компонентов. Поэтому очевидно, что указанные показатели отказов действительны только для компонентов, которые работают без превышения их срока службы и что обоснованность расчетов ограничивается сроком службы каждого компонента.

Газоанализаторы имеют сложные компоненты, такие как микроконтроллеры, поэтому срок службы, в рамках которого обеспечивается постоянная интенсивность отказов, составляет 12 лет. За пределами данного срока службы показатели отказов не гарантируются.

Необходимо периодически проводить замену сенсоров для сохранения постоянной интенсивности отказов, т. к. в зависимости от сенсора, их полезный срок службы может быть меньше, чем у электронных компонентов. Периодичность замены определяется выходом показаний газоанализатора за пределы допускаемой погрешности и невозможности корректировки показаний, а также в случае выхода сенсора из строя.

4.11 Архитектурные ограничения

Газоанализатор AXIOM имеет долю безопасных отказов $SFF > 90\%$.

Согласно способу 1_n по ГОСТ Р МЭК 61508-2 для компонентов типа В при $SFF > 90\%$ **уровень полноты безопасности УПБ 2 достигается при $HFT = 0$.**

4.12 Монтаж и ввод в эксплуатацию

AXIOM поставляется настроенным и готовым к эксплуатации в соответствии с параметрами по умолчанию, указанными в руководстве по эксплуатации. Не требуется особая конфигурация и настройки газоанализатора для приложений безопасности.

Порядок подготовки к использованию и монтажа газоанализаторов приведен в руководстве по эксплуатации.

Перед вводом в эксплуатацию должна быть проведена соответствующая калибровка газоанализатора и настроены диапазоны измерений. Подробная процедура настройки и калибровки газоанализатора приведена в руководстве по эксплуатации.

Схема подключения приведена в руководстве по эксплуатации.

4.13 Периодическая проверка

Первичная настройка, калибровка и техническое обслуживание в процессе эксплуатации указаны в руководстве по эксплуатации.

Объем периодических проверок указан в таблице 4.3

Таблица 4.3

Тип проверки	Периодичность	Описание проверки
Внешний осмотр газоанализатора	не менее 1 раза в 6 месяцев	РУСГ.413216.004 РЭ
Очистка металлокерамического фильтра газоанализатора	Ежегодно	РУСГ.413216.004 РЭ
Замена сенсора	по мере необходимости	РУСГ.413216.004 РЭ
Поверка	раз в год	Методика поверки
Контрольная проверка функции безопасности	В зависимости от приложения и требуемого PFD_{avg} системы безопасности (T_{roof} или $T1$)	В соответствии с разделом 4.14 данного руководства по безопасности

4.14 Контрольная проверка функции безопасности

Для подтверждения уровня полноты безопасности (УПБ) и выявления опасных необнаруженных отказов функция безопасности должна проверяться через соответствующие промежутки времени (интервал времени между контрольными проверками (Tproof или T1)) посредством контрольной проверки.

Выбор вида и объема проверки является ответственностью лица, эксплуатирующего устройство.

Рекомендуемая форма протокола проверки приведена в Приложении А.

Если результат проверки функции безопасности отрицательный, то вся система безопасности должна быть выведена из работы, а безопасное состояние процесса должно поддерживаться другими мерами.

Во время контрольной проверки функция безопасности должна рассматриваться как небезопасная. Следует учитывать, что функциональный тест оказывает влияние на подключенные устройства.

После завершения контрольной проверки должно быть восстановлено состояние, определенное для функции безопасности.

Процедура контрольной проверки № 1 (частичная проверка)

Процедура проверки функции безопасности осуществляется в следующем порядке:

Шаг	Действие
1	Заблокируйте передачу сигналов в ПЛК безопасности или примите другие меры, чтобы избежать ложного срабатывания системы безопасности
2	Подайте контрольную концентрацию ПГС-ГСО, соответствующую выходному унифицированному току в диапазоне срабатывания уставки безопасности токового выхода.
3	С помощью подключенного к газоанализатору измерительного оборудования или вспомогательных устройств измерить ток и убедиться в правильности преобразования концентрации газа в унифицированный сигнал с учетом предела допускаемой погрешности и погрешности измерения тока подключенным оборудованием.
4	Восстановите полную работоспособность контура.
5	Отключите блокировку ПЛК безопасности или иным способом обеспечьте работоспособностью приборной системы безопасности

Данная контрольная проверка обнаружит примерно 50 % возможных "опасных необнаруженных" отказов газоанализатора.

Процедура контрольной проверки № 2 (полная проверка)

Процедура проверки функции безопасности осуществляется в следующем порядке:

Шаг	Действие
1	Заблокируйте передачу сигналов в ПЛК безопасности или примите другие меры, чтобы избежать ложного срабатывания системы безопасности
2	Выполните 2-точечную калибровку газоанализатора (калибровку нуля и чувствительности)
3	Подайте контрольную концентрацию ПГС-ГСО, соответствующую выходному унифицированному току в диапазоне от 4 до 7 мА.
4	Подайте контрольную концентрацию ПГС-ГСО, соответствующую выходному унифицированному току в диапазоне срабатывания уставки безопасности токового выхода.
5	Подайте контрольную концентрацию ПГС-ГСО, соответствующую выходному унифицированному току в диапазоне от 17 до 20 мА.
6	С помощью подключенного к газоанализатору измерительного оборудования или вспомогательных устройств измерьте ток в каждом случае и убедитесь в правильности преобразования концентрации газа в унифицированный сигнал с учетом предела допускаемой погрешности и погрешности измерения тока подключенным оборудованием.
7	Восстановите полную работоспособность контура.
8	Отключите блокировку ПЛК безопасности или иным способом обеспечьте

Данная контрольная проверка обнаружит примерно 95% возможных "опасных необнаруженных" отказов газоанализатора.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(рекомендуемое)

Форма протокола проверки функции безопасности

Идентификация	
Эксплуатирующая организация	
Проверяющее лицо	
Код заказа	
Заводской номер	
Дата ввода газоанализатора в эксплуатацию	
Дата последней проверки функции безопасности	

Основание/объем проверки	
Ввод в эксплуатацию	
Периодическая проверка функции безопасности	
Объем проверки	

Результат проверки					
№ ГСО-ПГС	Концентрация подаваемого компонента	Показания газоанализатора	Значение погрешности	Предел допускаемой погрешности	Итоговый результат

Дата:	Подпись:
-------	----------

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(справочное)

Термины и определения

Функциональная безопасность (Functional Safety) – часть общей системы безопасности, обусловленная применением управляемого оборудования и системы управления и зависящая от правильности функционирования электрических/электронных/ программируемых электронных систем (далее – Э/Э/ЭП системы), связанных с безопасностью, и других средств по снижению риска.

Полнота безопасности (safety integrity) – вероятность того, что система, связанная с безопасностью, будет удовлетворительно выполнять требуемые функции безопасности при всех оговоренных условиях в течение заданного периода времени.

УПБ (SIL – safety integrity level) – уровень полноты безопасности - дискретный уровень (принимаящий одно из четырёх значений), определяющий требования к полноте безопасности для функции безопасности, который ставится в соответствии с Э/Э/ПЭ системам, связанным с безопасностью.

Опасное состояние (dangerous state) - состояние процесса, при котором функция безопасности не может быть выполнена.

Функция безопасности (safety function) – функция, реализуемая системой, связанной с безопасностью, основанной на других технологиях, или внешними средствами снижения риска, которая предназначена для достижения или поддержания безопасного состояния процесса применительно к определенному опасному событию.

Отказ (failure) – прекращение способности функциональной единицы выполнять требуемую функцию.

Опасный отказ (dangerous failure) – отказ, который потенциально может перевести систему, связанную с безопасностью, в опасное или неработоспособное состояние.

Безопасный отказ (safe failure) – отказ, который не переводит систему, связанную с безопасностью, в опасное состояние или в состояние отказа при выполнении функции.

Обнаруженный отказ (detected failure) – отказ, выявленный с помощью диагностических проверок, контрольных проверок, вмешательства оператора (например, физического осмотра и ручной проверки) либо в ходе нормальной работы.

Необнаруженный отказ (undetected failure) – отказ, не выявленный с помощью диагностических проверок, контрольных проверок, вмешательства оператора (например, физического осмотра и ручной проверки) либо в ходе нормальной работы.

Отказобезопасность – свойства изделия, ориентированные на сохранение безопасности в случае отказа.

Архитектура MooN – приборная система безопасности или ее часть, выполненная из N независимых каналов, соединенных так, что M каналов достаточно для выполнения функции безопасности.

FMEDA (Failure Modes, Effect, and Diagnostics Analysis) – анализ видов и последствий отказов, их эффектов и диагностики. Применяется для расчёта показателей функциональной безопасности.

Контрольная проверка/проверка функции безопасности (proof test) – периодическая проверка, выполняемая для того, чтобы обнаружить отказы в системе, связанной с безопасностью, с тем чтобы при необходимости система могла быть восстановлена настолько близко к исходному состоянию, насколько это возможно в данных условиях.

FIT (failures in time) – вероятность отказа, представляемая как число отказов на миллиард часов. $1 \text{ FIT} = 1 \cdot 10^{-9}$ в час.

SFF (safety fail fraction) – доля безопасных отказов - свойство элемента, связанного с безопасностью, определяемое отношением суммы средних частот безопасных отказов и опасных обнаруженных отказов к сумме средних частот безопасных и опасных отказов.

HFT (hardware fault tolerance) – допустимое число отказов оборудования.

$\text{HFT} = X$ означает, что $X+1$ является минимальным числом отказов, которые могут привести к потере функции безопасности.

PFDavg (probability of dangerous failure on demand) - средняя вероятность опасного отказа по запросу, средняя неготовность Э/Э/ПЭ системы, связанной с безопасностью, обеспечить безопасность, т.е. выполнить указанную функцию безопасности, когда происходит запрос.

PFH (average frequency of a dangerous failure per hour) - средняя частота опасного отказа в час, средняя частота опасного отказа Э/Э/ПЭ системы, связанной с безопасностью, выполняющей указанную функцию безопасности в течение заданного периода времени.