

## Руководство по функциональной безопасности

Стекланный pH-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens



Уровень



Давление



Расход



Температура



Анализ жидкости



Регистраторы



Системные компоненты



Сервис



Решения

# Руководство по функциональной безопасности Головка датчика KSG2-SIL, входящая в состав стеклянного pH-электрода Orbisint CPS11D

Датчик с поддержкой технологии Memosens для измерения значения pH



### Область применения

Используется для подключения к измерительной системе, соответствующей требованиям к системам, связанным с безопасностью, изложенным в стандарте МЭК 61508. Измерительный прибор соответствует следующим требованиям:

- Функциональная безопасность согласно МЭК 61508
- Взрывозащита
- Электромагнитная совместимость согласно МЭК 61326 и рекомендации NAMUR NE 21
- Электробезопасность согласно МЭК/EN 61010-1
- Пылевлагозащита по классу IP68 в соответствии с DIN EN 60529

### Преимущества

- Возможность использования во всех системах, совместимых с Memosens, с уровнем полноты безопасности до SIL 2
- Независимая оценка (оценка функциональной безопасности), проведенная TÜV Süd в соответствии с МЭК 61508
- Постоянная самодиагностика
- Постоянный текущий контроль соединений

SD00152C/53/RU/02.10

Версия:		Стр.:
<b>2.0</b>		<b>1 из 29</b>

# Руководство по функциональной безопасности

## Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

**SIL Konformitätserklärung / Сертификат соответствия уровню SIL**

Funktionale Sicherheit nach IEC 61508 / Функциональная безопасность согласно стандарту МЭК 61508

Компания Endress+Hauser Conducta GmbH+Co. KG, Dieselstr. 24, 70839 Gerlingen, erklärt als Hersteller die Richtigkeit der folgenden Angaben. /

являясь изготовителем, подтверждает правильность приведенных ниже данных

<b>Gerät/Продукт</b>	<b>Головка датчика KSG2-SIL, используемая в составе датчика Orbisint CPS11D</b>
Schutzfunktion / Функция безопасности	Измерение, усиление, преобразование в цифровую форму и передача значения рН-напряжения и значения температуры с использованием протокола Memosens V1 в систему более высокого уровня (например, преобразователь).
Systematischer SIL /Уровень SIL системы :: Software SIL /Уровень SIL программного обеспечения	2 :: 2
НФТ	п
Gerätetyp/Тип прибора	В
Betriebsart/Режим работы	Режим с низкой интенсивностью запросов
SFF (Доля безопасных отказов)	92,3 %
MTTR (Среднее время для ремонта)	8 ч
Prüfintervall T1/Интервал контрольных проверок T1	1 Jahr/год, строго зависит от области применения!
$\lambda_{SD} / \lambda_{SU}$	0 FIT/630 FIT
$\lambda_{DD} / \lambda_{DU}$	1660 FIT/190 FIT
PFDavg T1 = 1 Jahre/год	$8,31 \times 10^{-4}$
MTBF (Среднее время между отказами) :: MTBF <sub>DU</sub> (величина, обратная $\lambda_{total} / \lambda_{DU}$ , предполагается, что интенсивность отказов является постоянной)	46 Jahre/лет :: 600 Jahre /лет

Das Gerät wurde in einem vollständigen Functional Safety Assessment unabhängig bewertet/Прибор получил независимую оценку в соответствии с полной процедурой оценки функциональной безопасности.

В случае внесения изменений в прибор необходимо применять процесс модификации, соответствующий требованиям стандарта МЭК 61508.



# Руководство по функциональной безопасности

## Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

## Содержание

<b>1</b>	<b>Структура измерительной системы, в которой используется датчик SIL CPS11D .....</b>	<b>6</b>
1.1	Компоненты системы.....	6
1.2	Описание области применения в виде системы, связанной с безопасностью .....	7
1.3	Допустимые типы приборов.....	7
1.4	Применимая документация по прибору .....	8
<b>2</b>	<b>Описание требований в отношении безопасности и ограничивающих условий.....</b>	<b>9</b>
2.1	Функция безопасности – безопасный режим измерения.....	9
2.2	Сигнал, связанный с безопасностью, и безопасное состояние .....	9
2.3	Ограничения на использование в областях применения, связанных с безопасностью .....	10
2.4	Обязательная диагностика преобразователя.....	11
2.5	Параметры функциональной безопасности .....	13
2.6	Поведение прибора в процессе эксплуатации и в случае отказа.....	16
2.6.1	Поведение прибора при включении.....	16
2.6.2	Поведение прибора при запросе .....	16
2.6.3	Поведение прибора при выдаче аварийных сигналов и предупреждений.....	16
<b>3</b>	<b>Монтаж .....</b>	<b>17</b>
<b>4</b>	<b>Управление .....</b>	<b>17</b>
4.1	Калибровка точки измерения .....	17
4.2	Метод определения параметров прибора .....	17
<b>5</b>	<b>Техническое обслуживание, повторная калибровка .....</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Контрольная проверка.....</b>	<b>18</b>
6.1	Контрольная проверка .....	18
6.2	Проверка для обеспечения безопасного функционирования .....	18
<b>7</b>	<b>Ремонт.....</b>	<b>20</b>
<b>8</b>	<b>Примечания в отношении резервирования для достижения уровня SIL 3.....</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Пример протокола контрольной проверки.....</b>	<b>20</b>
<b>10</b>	<b>Примеры расчета показателя PFD<sub>avg</sub>.....</b>	<b>22</b>
10.1	Пример расчета показателя PFD <sub>avg</sub> после контрольной проверки .....	22
10.2	Пример расчета показателя PFD <sub>avg</sub> для точки измерения рН.....	23

## Примечание.

Монтаж и эксплуатация прибора могут осуществляться только теми сотрудниками, которые прошли обучение и подготовлены к использованию систем, связанных с безопасностью, в соответствии с требованиями стандарта МЭК 61508.

## Примечание.

Общие сведения о функциональной безопасности (SIL) доступны на веб-сайте [www.endress.com/SIL](http://www.endress.com/SIL) в брошюре для повышения квалификации CP002Z "Functional safety in the Process Industry - risk reduction with Safety Instrumented Systems" (Функциональная безопасность в обрабатывающей промышленности – снижение рисков при использовании автоматических систем обеспечения безопасности).

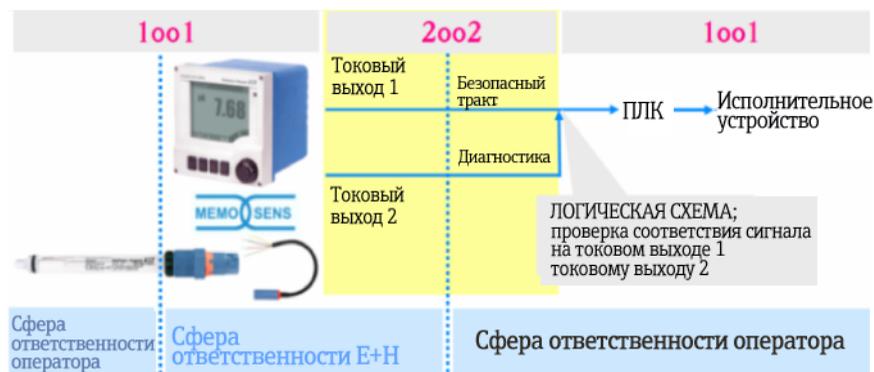
## Примечание.

Общая и техническая информация представлена в документации по датчику Orbisint CPS11D.

## 1 Структура измерительной системы, в которой используется датчик SIL CPS11D

### 1.1 Компоненты системы

Система, в которой для измерения значения рН используется датчик Orbisint CPS11D, может выглядеть, например, следующим образом:



В настоящем документе описывается эта часть, в особенности датчик.

1. Стекланный рН-электрод с поддержкой Memosens, например, Orbisint CPS11D SIL
2. Кабель CYK10 SIL с поддержкой Memosens
3. Преобразователь Liquiline M CM42 SIL с поддержкой Memosens

Датчик обеспечивает определение напряжения для значений рН и значение температуры путем обработки аналоговых значений в аналогово-цифровом преобразователе (А/D). В дальнейшем указанные цифровые значения используются вместе с сохраненными данными калибровки для вычисления значения рН. После расчета всех необходимых значений осуществляется передача необработанных значений напряжения (для рН и температуры) и расчетного значения рН в преобразователь посредством протокола Memosens. Для подключения датчика к преобразователю необходимо использовать кабель CYK10-SIL с поддержкой Memosens.

Датчик является лишь небольшой частью общей функции безопасности. Головка датчика CPS11D представляет собой элемент, соответствующий требованиям стандарта МЭК 61508.

## 1.2 Описание области применения в виде системы, связанной с безопасностью

Для использования датчика SIL CPS11D в системе, связанной с безопасностью, необходим безопасный преобразователь Memosens и безопасный кабель Memosens. Например, они могут быть произведены компанией Endress+Hauser Conducta GmbH+Co. KG.

### Примечание.

Вся информация, приведенная в настоящем документе, является действительной только для электронной вставки головки датчика SIL CPS11D, НО НЕ для стекланный элемента этого датчика. Элемент датчика представляет собой сугубо механический элемент без электронной вставки, находящийся в химическом контакте со средой процесса. Он должен отдельно обслуживаться оператором функции безопасности, в рамках которой применяется датчик.

## 1.3 Допустимые типы приборов

Информация, связанная с функциональной безопасностью и приведенная в этом руководстве, относится к указанным ниже вариантам исполнения приборов и является действительной для упомянутых версий программного и аппаратного обеспечения.

Если не указано иное, все последующие версии также можно использовать для реализации функций безопасности.

Версия:		Стр.:
<b>2.0</b>		<b>7 из 29</b>

Исполнения приборов, действительные для использования в областях применения, связанных с безопасностью: CPS11D-8BA2/4/5G  
 Действительные версии аппаратного обеспечения (электронная вставка головки датчика): ≥ V0.00.08  
 Действительные версии микропрограммного/программного обеспечения: ≥ V1.02.00

Для определения версий можно использовать преобразователь, позволяющий просматривать соответствующую информацию о версиях (например, преобразователь Liquiline M CM42). Дополнительную информацию об этих операциях см. в руководстве по эксплуатации применяемого преобразователя.

Датчик SIL CPS11D можно отличить от исполнений, не обеспечивающих уровень полноты безопасности SIL, по заводской табличке (на нее должен быть нанесен логотип Endress+Hauser SIL) и по коду заказа.

Код заказа: Orbisint CPS11D-8BA2/4/5G

Цифра "8" соответствует уровню SIL



В случае внесения изменений в прибор процесс модификации должен соответствовать требованиям стандарта МЭК 61508 и подлежит утверждению в компании Endress+Hauser.

## 1.4 Применимая документация по прибору

Дополнительная документация входит в комплект поставки прибора. См. техническое описание и руководство по эксплуатации датчика CPS11D.

Документация	Содержание
Техническое описание (TI)	- Технические данные - Подробное описание аксессуаров
Инструкция по эксплуатации (BA)	- Идентификация - Монтаж - Прокладка кабелей - Использование - Ввод в эксплуатацию - и т.д.

## 2 Описание требований в отношении безопасности и ограничивающих условий

### 2.1 Функция безопасности – безопасный режим измерения

Измерение, усиление, преобразование в цифровую форму и передача значения pH-напряжения и значения температуры с использованием протокола Memosens в систему более высокого уровня (например, преобразователь).

В приведенной ниже таблице представлены данные о точности измерений (только для головки датчика):

(Учитываются все ошибки, связанные с влиянием температуры, разбросом характеристик электронных компонентов и электромагнитной совместимостью)

Измерение	Диапазон температур	Точность	Точность в % от диапазона измерения	Точность для pH с термокомпенсацией
pH (без термокомпенсации)	-20...0°C	±8,7 мВ	±0,60 %	±0,30 pH
	0...60°C	±7,9 мВ	±0,55 %	±0,20 pH
	60...90°C	±14,8 мВ	±1,00 %	±0,30 pH
	90...110°C	±21,1 мВ	±1,40 %	±0,40 pH
	110...125°C	±27,5 мВ	±1,85 %	±0,45 pH
Температура	-20...0°C	±2 К	—	—
	0...85°C	± 1 К	—	—
	85...125°C	±2 К	—	—

В этой таблице не учтены ошибки, связанные с химическими или физическими свойствами и обусловленные средой, находящейся в контакте с элементом датчика, а также любые ошибки, относящиеся непосредственно к самому элементу датчика.

### 2.2 Сигнал, связанный с безопасностью, и безопасное состояние

Сигнал, связанный с безопасностью, используется для передачи значений измеряемых величин по протоколу Memosens. Другими безопасными выходами прибор не оборудован.

Безопасное состояние определяется как:

- **Пассивное безопасное состояние:**

Полная остановка обмена данными (ответ на сообщения не осуществляется) на срок более 5 секунд (время загрузки датчика составляет, по крайней мере, 7 секунд) или

■ **Активное безопасное состояние:**

Ответ на все запросы с использованием набора "Fatal Error Bit" (см. спецификацию протокола Memosens). На тип ошибки указывает байт состояния заголовка протокола Memosens.

Оба варианта безопасного состояния будут удерживаться до перезапуска датчика.

(Безопасные) сигналы должны обрабатываться в подключенном компоненте (например, преобразователе).

### 2.3 Ограничения на использование в областях применения, связанных с безопасностью

Указанные требования в отношении условий окружающей среды должны соблюдаться в любых условиях. Также необходимо соблюдать требования, изложенные во всех примечаниях, приведенных в руководстве по эксплуатации и инструкции по монтажу (см. раздел 1.4).

Дополнительные обязательные ограничения, которые необходимо соблюдать в областях применения, связанных с безопасностью:

- Головка датчика (не элемента датчика) должна использоваться при максимальной средней температуре окружающей среды, не превышающей 100 °С. Расчеты интенсивности отказов проводились на основе этого предположения.  
Минимальная допустимая рабочая температура составляет -20 °С, а максимальная разрешенная температура работы датчика равняется 125 °С. Головка датчика обеспечивает проверку на предмет соблюдения диапазона температур от -20°С до 150°С и перевод прибора в безопасное состояние при достижении указанных значений.
- Головка датчика (с электронной вставкой) должна быть сухой и не должна находиться в контакте со средой.
- В процессе монтажа необходимо убедиться в том, что в системе используется кабель, совместимый с уровнем полноты безопасности SIL (например, кабель CYK1 0 SIL – см. заводскую табличку с логотипами SIL- и TÜV). Выполнить эту проверку для датчика, находящегося в рабочем режиме, невозможно.
- Необходимо соблюдать требования к условиям окружающей среды, приведенные в стандарте МЭК 61326-3-2.
- Следует тщательно проверять подключение кабеля Memosens к датчику, см. инструкцию по монтажу.
- Запрещено использовать систему в радиоактивной среде.
- Необходимо выполнять сравнение значений давления окружающей среды со значениями, приведенными в инструкции по эксплуатации ВА. При

Версия:		Стр.:
<b>2.0</b>		<b>10 из 29</b>

выходе за указанный диапазон давления эксплуатация системы запрещена.

- Запрещено использование датчика произведенного более 3 лет назад (начиная со дня изготовления). Эта проверка осуществляется с помощью преобразователя Liquiline M CM42 от Endress+Hauser.
- Датчик не обеспечивает проверку соответствия температуры "допустимому диапазону" для области применения.
- Датчик не обеспечивает проверку соответствия значения рН или значения напряжения рН "допустимому диапазону для области применения".
- Контроль над напряжением питания осуществляется с использованием датчика. При отсутствии напряжения датчик не работает и, таким образом, находится в пассивном безопасном состоянии. Обнаружение всех прочих ошибок напряжения производится внутри датчика, который переводится в активное безопасное состояние.
- Монтаж датчика необходимо проводить с особой тщательностью: Устанавливайте датчик с кабелем (см. инструкции по монтажу датчика), соблюдая требования к моменту затяжки.
- Хранение датчика должно осуществляться при температуре от 0°C до 125°C.

## 2.4 Обязательная диагностика преобразователя

Обратите внимание на то, что преобразователь Liquiline M CM42 от компании Endress+Hauser соответствует всем требованиям, приведенным в представленном ниже списке.

При использовании преобразователя Liquiline M CM42, произведенного компанией Endress+Hauser, оставшуюся часть данного раздела можно опустить.

Диагностика осуществляется с использованием преобразователя:

- ■ [Дополнительная диагностика]:

Значение рН вычисляется датчиком по следующей формуле:

$$pH = \frac{U_x}{S_{Tx}} + NP$$

, где

$$S_{Tx} = S_{T25^{\circ}C} \cdot \frac{273.15 + T_x(^{\circ}C)}{298.15}$$

и

$U_x$  измеренное напряжение

$NP$  смещение/нулевое значение (хранится в индексе 0x10)

$S_{T25^{\circ}C}$  крутизна при 25°C (хранится в индексе 0x10)

$T_x$  температура в момент измерения напряжения

- Значение рН из датчика можно сравнить со значением рН, вычисленным в преобразователе с использованием значения необработанного напряжения.
- Проверка счетчика измерений должна производиться в подключенном преобразователе.  
 Преобразователь, в который поступает значение счетчика измерений должен обеспечивать проверку счетчика, не допуская его увеличения более чем на 12 единиц в течение 2 секунд.  
 Также необходимо убедиться в том, что счетчик увеличивается, по крайней мере, на 1 единицу каждые 2 секунды.  
 Неудачное завершение одной или двух указанных проверок указывает на наличие серьезных проблем с датчиком и необходимость перевода преобразователя в безопасное состояние.  
 Счетчик измерений увеличивается в следующих случаях:
  - o при успешном завершении измерения рН и температуры и
  - o если рассчитанные значения находятся в пределах допустимых диапазонов.
- Преобразователь всегда должен обеспечивать проверку связи с датчиком. При нарушении связи на время свыше 5 секунд (за это время не получен ни один запрос) преобразователь необходимо перевести в безопасное состояние.
- Проверка датчика на предмет поврежденного стекла элемента датчика производится с использованием так называемого метода SCS (система проверки датчика), предусматривающего по существу проверку сопротивления стекла. Данный диагностический охват (DC) составляет 90%. В соответствии со стандартом МЭК 61508 для элемента датчика его можно использовать в ходе анализа FMEDA.
- Калибровка (и коррекция) датчика может осуществляться в форме "безопасной калибровки" или "опасной калибровки". Это зависит от возможностей преобразователя. Для получения дополнительной информации по этой теме см. руководства по эксплуатации преобразователя, например, руководство по технике безопасности для преобразователя E+H Liquiline M CM42.
- Необходимо применять все виды диагностики, описанные в документации/спецификации протокола Memosens. Более подробную информацию см. в спецификации Memosens.
- Интерфейс датчика описывается "списком индексов датчиков". Для получения информации о данных, которые должны передаваться в датчик и из него, обратитесь к указанному списку.

## 2.5 Параметры функциональной безопасности

В представленной ниже таблице приведены специализированные параметры функциональной безопасности для одноканального варианта прибора:

Параметры в соответствии с МЭК 61508	Датчик Memosens CPS11D
Функция безопасности	Измерение и передача значения рН-напряжения и значения температуры в систему более высокого уровня (например, преобразователь).
SIL	Оборудование: 2, Программное обеспечение: 2 при однородном резервировании: 2
HFT	0
Тип прибора	В
Режим работы	Режим с низкой интенсивностью запросов
SFF	92,3 %
MTTR (используется для расчета показателя PFDavg)	8 ч
T <sub>1</sub> (Интервал контрольных проверок)	Рекомендуемый: 1 год
$\lambda_{SD}$	0 FIT
$\lambda_{SU}$	630 FIT
$\lambda_{DD}$	1660 FIT
$\lambda_{DU}$	190 FIT
$\lambda_{Total}$	<sup>*1</sup> 2476 FIT
PFD <sub>avg</sub> (для T <sub>1</sub> = 1 год)	<sup>*4</sup> $0,83 \times 10^{-3}$
PFH	$1,90 \times 10^{-8}$
MTBF/MTBF <sub>DU</sub>	<sup>*1</sup> 46 лет/600 лет
Интервал диагностических проверок <sup>*2</sup>	<60 мин

## Руководство по функциональной безопасности

Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

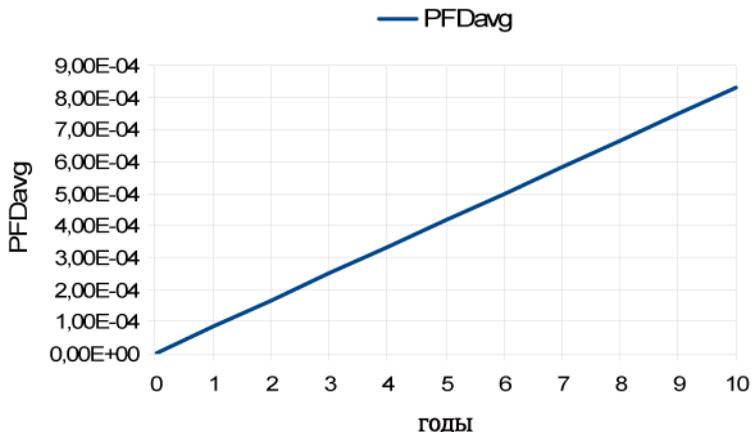
Время отклика при ошибке	<sup>3*</sup> < 1 с
	<ul style="list-style-type: none"> <li>– только время отклика датчика, без учета времени отклика, связанного с передачей данных</li> <li>– время отклика, связанное с передачей данных, зависит от свойств связи, используемых преобразователем, и качестве линии связи</li> </ul>
DCD (Диагностический охват – опасные отказы)	90 %

- <sup>1\*</sup> В соответствии со стандартом Siemens SN29500 при 100 градусах Цельсия. Значение показателя MTBF рассчитывается в качестве обратного значения от показателя PFH/ $\lambda$ Total, с использованием предположения о том, что интенсивность отказов является постоянной.
- <sup>2\*</sup> В течение этого времени все диагностические функции выполняются, по крайней мере, один раз.
- <sup>3\*</sup> Время между обнаружением отказа и откликом на отказ
- <sup>4\*</sup> Разумеется можно выбрать другие (например, более продолжительные) интервалы контрольных проверок. Выберите один интервал, соответствующей области применения, с помощью приведенной ниже диаграммы.

### Примечание.

При расчете показателя  $PFD_{avg}$  для системы 1001D применялась модель Маркова. Интенсивность отказов, связанных с внешними источниками питания, не учитывается.

Зависимость показателя  $PFD_{avg}$  для архитектуры 1001D от продолжительности интервала контрольных проверок.



### Опасные необнаруженные отказы в данном сценарии:

Опасным необнаруженным отказом считается отказ, предотвращающий передачу значения из датчика в подключенный компонент, или отказ, при котором ошибка измерения превышает ограничение по точности, указанное в разделе 2.1.

### Срок эксплуатации электронных компонентов:

Лежащие в основе расчетов значения интенсивности отказов применяются при условии соблюдения сроков эксплуатации электронных компонентов, соответствующих требованиям МЭК 61508-2, статья 7.4.7.4, примечание 3 [МЭК61508:2000] или статья 7.4.9.5, примечание 3 [МЭК61508:2010].

Использование других значений должно осуществляться на основе опыта предыдущего использования в аналогичной среде.

Предполагается, что большая часть ранних отказов будет обнаружена в процессе монтажа и пробной эксплуатации, поэтому предположение о постоянной интенсивности отказов в ходе полезного срока службы является допустимым.

Срок службы датчика именно этого типа составляет 3 года.

### Примечание.

Для обеспечения безопасной эксплуатации прибора необходимо правильно установить его с соблюдением всех требований, приведенных в разделе 2.3.

## 2.6 Поведение прибора в процессе эксплуатации и в случае отказа

### 2.6.1 Поведение прибора при включении

После включения прибора запускается процедура самодиагностики. Она длится менее 10 секунд. В ходе этого временного интервала измерение не производится и обмен данными по протоколу Memosens невозможен.

### 2.6.2 Поведение прибора при запросе

При обнаружении внешней ошибки прибор переводится в безопасное состояние в течение времени отклика при ошибке (см. раздел 2.2).

### 2.6.3 Поведение прибора при выдаче аварийных сигналов и предупреждений

В зависимости от обнаруженной ошибки прибор переводится в один из двух вариантов безопасного состояния. В пассивном безопасном состоянии обмен данными с датчиком не осуществляется. В активном состоянии датчик по-прежнему обеспечивает обмен данными и передает сведения об обнаруженной ошибке в подключенный компонент (например, преобразователь).

## 3 Монтаж

### Подключение и ввод в эксплуатацию

Этапы подключения и ввода прибора в эксплуатацию описаны в инструкции по эксплуатации прибора (см. раздел 1.4).

Необходимо учитывать все примечания, приведенные в разделе 2.3.

### Ориентация

Единственные существующие ограничения в отношении ориентации прибора приведены в разделе 2.3 и указаны в документации (см. раздел 1.4). Других ограничений нет.

## 4 Управление

### 4.1 Калибровка точки измерения

При использовании датчика для реализации функции безопасности всегда необходимо выполнять его калибровку/коррекцию. Процесс калибровки/коррекции описан в документации для подключенного преобразователя. Для получения дополнительной информации изучите эту документацию.

### 4.2 Метод определения параметров прибора

Единственной операцией, в ходе которой осуществляется определение параметров, является калибровка датчика. См. раздел 4.1.

## 5 Техническое обслуживание, повторная калибровка

Ответственность за реализацию циклов повторной калибровки, очистки и других процедур "очистки" несет оператор измерительной цепи, поэтому описание этих процессов в данном руководстве отсутствует.

### Примечание.

Эти циклы играют важнейшую роль в обеспечении безопасности всей измерительной цепи, поэтому перед использованием прибора в составе предохранительной цепи необходимо выполнить их анализ.

## 6 Контрольная проверка

### 6.1 Контрольная проверка

Для обеспечения правильной работы и безопасности функций безопасности их необходимо проверять с должной периодичностью.

Временной интервал должен определяться оператором (см. главу 2.5).

**Рекомендация:** После истечения периода контрольной проверки рекомендуется полная замена прибора.

Контрольные проверки должны выполняться в соответствии с приведенной ниже процедурой.

При использовании нескольких приборов в логической схеме голосования MooN ("М из N") описанную здесь контрольную проверку необходимо выполнять отдельно для каждого прибора.

Кроме того, должны выполняться проверки, позволяющие убедиться в соблюдении всех ограничений, связанных с эксплуатацией (см. раздел 2.3).

### 6.2 Проверка для обеспечения безопасного функционирования

#### Примечание.

Для выполнения этой проверки потребуется кабель для датчиков Memosens и преобразователь, позволяющий выполнять данную проверку, например, преобразователь Liquiline M CM42 SIL.

Также необходимы два буферных раствора: один из них должен иметь значение рН 7,00, а второй – рН 4,00.

1. Для принудительного перевода головки датчика в безопасное состояние следует выполнить специальную "процедуру калибровки", поддерживаемую используемым преобразователем. Дополнительную информацию см. в руководстве по безопасному использованию преобразователя. Выполнение данной процедуры позволяет убедиться в том, что головка датчика по-прежнему выполняет функцию безопасности и правильным образом переводится в безопасное состояние.
2. Безопасная калибровка: последующее выполнение безопасной калибровки является ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ условием. Для выполнения данной безопасной калибровки используйте буферные растворы с рН 4,00 и рН 7,00.
3. Используйте буферный раствор с рН 4,00 и выполните измерение. Отклонение значения измеряемой величины от расчетного значения, содержащегося в таблице температур для буферного раствора с рН 4,00, предоставленной производителем раствора, не должно превышать  $\pm 0,2$  рН. Таблица температур для буферных растворов, произведенных Е+Н:

°C	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
pH	2,01	2,01	2,01	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
	4,05	4,04	4,02	4,01	4,00	4,01	4,01	4,01	4,01	4,01
	7,13	7,07	7,05	7,02	7,00	6,98	6,98	6,96	6,95	6,95
	9,46	9,40	9,33	9,28	9,22	9,18	9,14	9,10	9,07	9,04
	11,45	11,32	11,20	11,10	11,00	10,90	10,81	10,72	10,64	10,56

°C	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
pH	2,00	2,00	2,00	2,00	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	6,95	6,95	6,96	6,96	6,96	6,96	6,97	6,98	7,00	7,02
	9,01	8,99	8,96	8,95	8,93	8,91	8,89	8,87	8,85	8,83
	10,48	10,35	10,23	10,21	10,19	10,12	10,06	10,00	9,93	9,86

- Повторите шаг 3, используя буферный раствор с pH 7,00.
- Выполните безопасную калибровку температуры. Время калибровки (для условия стабильности) должно составлять, по крайней мере, 60 секунд.
- Выполните измерение температуры и проверьте полученные результаты: отклонение измеренного значения температуры не должно превышать 1,0 градуса по Кельвину.

Результаты контрольной проверки должны быть задокументированы с указанием даты, проверяющего и результата (см. пример в разделе 9). В результате проведения этой проверки обнаруживается около 99% (охват контрольной проверки) от общего числа возможных опасных необнаруженных отказов прибора.

### Примечание.

Также см. раздел "Техническое обслуживание, повторная калибровка" в главе 5.

### Примечание.

Если хотя бы один из описанных критериев контрольной проверки не выполнен, дальнейшее использование прибора в составе системы, связанной с безопасностью, запрещено.

Контрольная проверка проводится для обнаружения случайных отказов.

Влияние систематических ошибок на функцию безопасности не входит в задачу этих проверок и должно оцениваться отдельно. Системные ошибки могут быть вызваны, например, свойствами среды, окружающими условиями, коррозией и т.д.

## 7 Ремонт

Ремонт прибора запрещен. Если прибор функционирует ненадежно (что НЕ обусловлено его естественным износом), заполните форму "Справка о присутствии опасных веществ", доступную на веб-сайте [www.endress.com/service-support](http://www.endress.com/service-support) – returned material или скопируйте и заполните форму, размещенную на последней странице настоящего руководства, приложите ее к очищенному прибору и отправьте в региональное торговое представительство E+H. После этого прибор подлежит изучению специалистами E+H. Если причина возникновения ошибки связана с безопасностью, прибор будет заменен.

## 8 Примечания в отношении резервирования для достижения уровня SIL 3

В данный момент достигнуть указанного уровня полноты безопасности посредством однородного резервирования невозможно. Однако, используя данный прибор, можно реализовать уровень полноты безопасности SIL3 посредством неоднородного резервирования.

Одним из вариантов созданий цепи измерения pH с уровнем SIL3 является резервирование цепи измерения SIL2 от E+H (преобразователь Liquiline M CM42 SIL, кабель CUK10 SIL, датчик Memosens SIL) и подобной цепи другого производителя.

## 9 Пример протокола контрольной проверки

Для документирования контрольной проверки можно использовать приведенную ниже таблицу.

Версия:		Стр.:
<b>2.0</b>		<b>20 из 29</b>

## Руководство по функциональной безопасности

Стекланный pH-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

Данные области применения	
Компания	
Точка измерения	
Установка	
Тип прибора:	Orbisint CPS11D с головкой датчика KSG2-SIL
Серийный номер	
Проверенные ограничения на использование	<input type="radio"/> Да <input type="radio"/> Нет
Калибровка датчика – результаты измерения крутизна [рН/мВ] смещение [рН]	
pH 4:      Температура [°C/°F] Расчетное значение pH [рН] Измеренное значение [рН]	
pH 7:      Температура [°C/°F] Расчетное значение pH [рН] Измеренное значение [рН]	
Результат калибровки температуры для датчика [K]	
Измеренная температура: расчетная [°C/°F] измеренная [°C/°F]	
Значение PFD <sub>avg</sub> перед контрольной проверкой	
Значение PFD <sub>avg</sub> после контрольной проверки	
Дата последней проведенной контрольной проверки	
Дата следующей контрольной проверки	
Следующая контрольная проверка (предполагаемая)	
Ф.И.О. проверяющего	
Дата	
Подпись	

## 10 Примеры расчета показателя $PFD_{avg}$

В этой главе приведено несколько примеров вычисления значений показателя  $PFD_{avg}$  для измерительной цепи и значения  $PFD_{avg}$  после выполнения контрольных проверок.

Примечание:  $PFD_{avg}(T) = 1/T \int_0^T (\lambda_{DU} t) dt = 1/2 \lambda_{DU} t$  (для системы с архитектурой 1oo1D, предполагая постоянную и небольшую интенсивность отказов  $\lambda_{DU}$ ). Обычно показатель  $PFD_{avg}$  приводится без параметра T, означающего, что это значение  $PFD_{avg}$  соответствует времени T обязательной контрольной проверки.

### 10.1 Пример расчета показателя $PFD_{avg}$ после контрольной проверки

Целью контрольной проверки является демонстрация отсутствия опасных необнаруженных отказов в системе. Охват контрольной проверки выражает ее эффективность.

Таким образом, после успешного завершения контрольной проверки значение показателя  $PFD_{avg}$  системы считается "более совершенным". После этого можно определить срок проведения следующей контрольной проверки.

К примеру, в этом случае в архитектуре 1oo1D использовался кабель СУК10 SIL для датчиков с поддержкой Memosens.

Предположения, использованные в данном примере:

Контрольная проверка проведена по истечении двух лет эксплуатации, поскольку значение показателя  $PFD_{avg}$  системы не должно превышать  $1,80 \times 10^{-4}$ .

Начальное значение  $PFD_{avg}$  нового кабеля:  $PFD_{avg}(0) = 0$

$PFD_{avg}$  кабеля со сроком службы 2 года:  $PFD_{avg}(2 \text{ года}) = 1,80 \times 10^{-4}$

предполагается, что  $X_{DU} = 2,05 \times 10^{-8} \text{ 1/ч}$  (= 20,5 FIT),

где  $PFD_{avg}(t) = 1/2 \times t \times \lambda_{DU}$ , t в часах.

В этом случае контрольная проверка (см. пояснение к меню CM42) будет выполнена успешно.

Охват контрольной проверки (см. руководство по безопасному использованию кабеля Memosens): 90%.

Новые значения после контрольной проверки были успешно получены:

Новое значение показателя  $PFD_{avg}$  после двух лет эксплуатации и успешного прохождения контрольной проверки.

$PFD_{avg}(2 \text{ года; успешная контрольная проверка}) = 1,80 \times 10^{-4} \times (1,00 - 0,90) = 0,18 \times 10^{-4}$

Значение  $PFD_{avg}$  после двух дополнительных лет (дополнительная контрольная проверка не выполнялась):

$PFD_{avg}(4 \text{ года}) = 0,18 \times 10^{-4} + 1,80 \times 10^{-4} = 1,98 \times 10^{-4}$

Дополнительные вопросы:

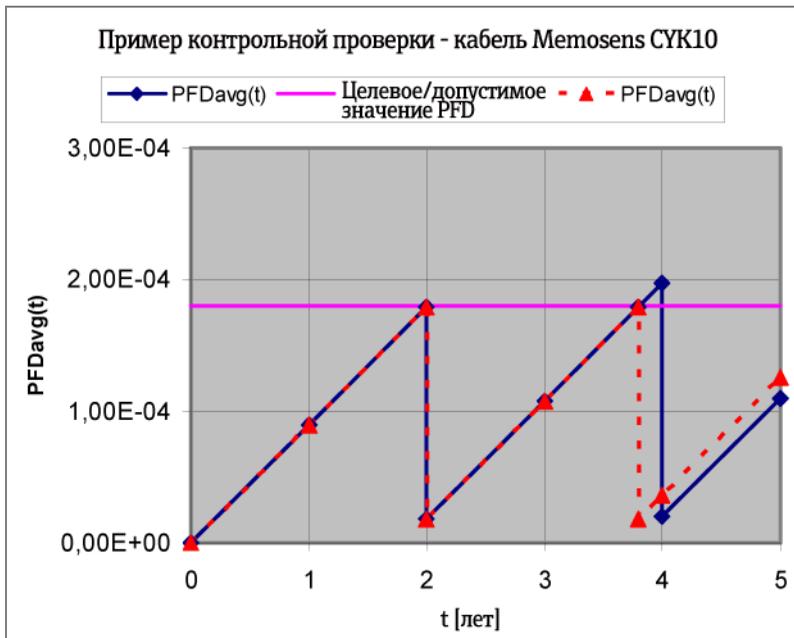
Через какой период времени T значение показателя PFDavg(t) для "системы, прошедшей контрольную проверку" вновь достигнет величины  $1,80 \times 10^{-4}$ ?

Определение значения T, при котором  $PFD_{avg}(T) = 1,80 \times 10^{-4}$

$$=> 1,80 \times 10^{-4} = 0,18 \times 10^{-4} + 0,50 \times \lambda_{DU} \times T$$

$$=> T \text{ в годах: } T = 0,9 \times 2,0 \text{ года} = 1,8 \text{ года} = 21,6 \text{ месяца}$$

По этой причине интервал контрольных проверок T после первой "незавершенной" контрольной проверки с охватом 90% будет меньше двух лет.



Пунктирная линия соответствует значению  $PFD_{avg}(t)$  при условии, что контрольная проверка проводится через 2 года и 21,6 месяца. Сплошная линия соответствует ситуации, при которой контрольная проверка выполняется через 2 года и через 4 года. Прямая горизонтальная линия обозначает предельное значение показателя  $PFD_{avg}$ , заданное клиентом.

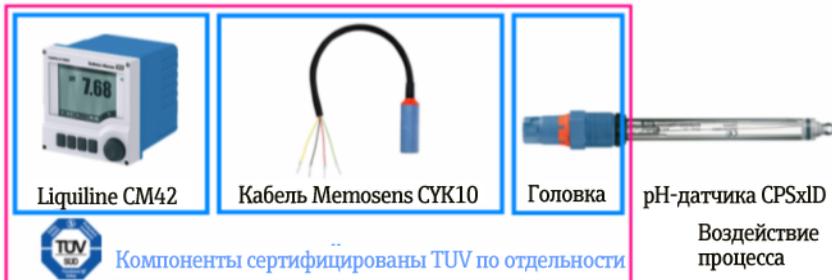
**10.2 Пример расчета показателя  $PFD_{avg}$  для точки измерения рН**

**Примечание.**

Приведенный пример может использоваться в качестве результата расчета параметров безопасности всей цепи измерения рН с уровнем безопасности SIL производства Endress+Hauser (см. таблицу в конце главы).

Предположим, что точка измерения состоит из следующих компонентов производства Endress+Hauser:

1. рН-стеклянный электрод Orbisint CPS11D SIL с поддержкой Memosens
2. Кабель CYK10 SIL с поддержкой Memosens
3. Преобразователь Liquiline M CM42 SIL с поддержкой Memosens



Измерительная цепь подключена к устройству PCS (например, ПЛК), который, в свою очередь, подключен к устройству, активирующему безопасное состояние.

Для вычисления значения PFD всей цепи ( $PFD_{avg} \text{ mc}$ ; где mc – цепь измерения) осуществляется суммирование отдельных значений PFD всех компонентов цепи, включая протокол связи (в данном случае, протокол Memosens):

$$PFD_{avg} \text{ mc} = PFD_{avg} \text{ датчика} + PFD_{avg} \text{ кабеля} + PFD_{avg} \text{ преобразователя} + PFD_{avg} \text{ протокола Memosens}$$

Тогда для полной автоматической системы безопасности (SIS):

$$PFD_{avg} \text{ sis} = PFD_{avg} \text{ mc} + PFD_{avg} \text{ PCS} + PFD_{avg} \text{ устройства}$$

Например, значение для полной (не являющейся избыточной) цепи измерения рН от Endress+Hauser, описанной в начале данного раздела (протокол Memosens учитывается с использованием значения 1% от PFD для SIL2 =  $1,0 \text{ E}^{-4}$ ):

$$PFD_{avg} \text{ mc} = 8,3 \text{ E}^{-4} + 0,9 \text{ E}^{-4} + 10,3 \text{ E}^{-4} + 1,0 \text{ E}^{-4} = 20,5 \text{ E}^{-4}$$

(Интервалы контрольных проверок составляют 1 год для всех приборов)

## Руководство по функциональной безопасности

Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

Согласно МЭК 61508 для реализации системы SIS с уровнем полноты безопасности SIL2 максимальное значение показателя  $PFD_{avg}$  должно составлять  $1E-2$ . Только что рассчитанное значение соответствует приблизительно 21% от значения  $PFD_{avg}$  для SIL2. Это значит, что на PCS и объекты может приходиться 79% от значения  $PFD_{avg}$  для SIL2.

Разумеется, для выполнения всех требований стандарта МЭК 61508 необходимо рассчитать и использовать показатель SFF, описанный в стандарте.

Показатель SFF для этой цепи составляет:

$$SFF_{mc} = 93,8\% \text{ с}$$

$$SFF_{\text{датчика}} = 92,3\%,$$

$$SFF_{\text{кабеля}} = 90,4\% \text{ и}$$

$$SFF_{\text{преобразователя}} = 94,8\%.$$

В приведенной ниже таблице представлены параметры функциональной безопасности для эксплуатации одноканальной цепи:

Параметры в соответствии с МЭК 61508	Цепь измерения pH от E+H с передачей данных по протоколу Memosens с уровнем полноты безопасности SIL
Функция безопасности	1: контроль над предельными значениями pH 2: измерение значения pH 3+4: безопасная калибровка и коррекция
SIL	Оборудование: 2, Программное обеспечение: 2 при однородном резервировании: 2
HFT (Допуск по ошибкам аппаратного обеспечения)	0
Тип прибора	B
Режим работы	Режим с низкой интенсивностью запросов
SFF (Доля безопасных отказов)	93,8 %
MTTR (используется для расчета показателя PFD)	8 ч
T <sub>1</sub> (Интервал контрольных проверок)	Рекомендуемые значения: 1 / 1 / 1 год, (датчик/кабель/преобразователь)
λ <sub>SD</sub>	688 FIT
λ <sub>SU</sub>	1623 FIT
λ <sub>DD</sub>	4473 FIT
λ <sub>DU</sub>	447 FIT
λ <sub>Total</sub>	<sup>*1</sup> 7238 FIT
PFD <sub>avg</sub> (для T <sub>1</sub> = 1 / 1 / 1 год)	<sup>*4</sup> 19,6 × 10 <sup>-4</sup>
PFH	4,5 × 10 <sup>-7</sup>
MTBF (Среднее время между отказами)	<sup>*1</sup> 15 лет
Интервал диагностических проверок	<sup>*2</sup> <60 мин

## Руководство по функциональной безопасности

### Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

Время отклика при ошибке <sup>*3</sup>	< 10 с
DCD (Диагностический охват – опасные отказы)	91 %

- 1\* В соответствии со стандартом Siemens SN29500 при 60°/100°C. Значение показателя MTBF рассчитывается в качестве обратного значения от показателя PFH/λTotal.
- 2\* В течение этого времени все диагностические функции выполняются, по крайней мере, один раз.
- 3\* Время между обнаружением отказа и откликом на отказ
- 4\* Разумеется можно выбрать другие (например, более продолжительные) интервалы контрольных проверок. Выберите интервал, соответствующей конкретной области применения.

#### Примечание.

В этих значениях НЕ учитываются значения PFD/SFF для используемой логической цепи и элемента датчика, находящегося в контакте со средой, а также взаимодействие среды с элементом датчика.



Все права защищены. Копирование и передача настоящего документа, использование и передача его содержания без предварительного письменного разрешения компании Endress+Hauser

All rights reserved. Passing on and copying of this document, use and communication of its contents not permitted without written authorization from Endress+Hauser Conducta GmbH+Co. KG.

## Руководство по функциональной безопасности

Стекланный рН-электрод CPS11D с поддержкой технологии Memosens

Версия:

**2.0**

Стр.:

**29** из **29**